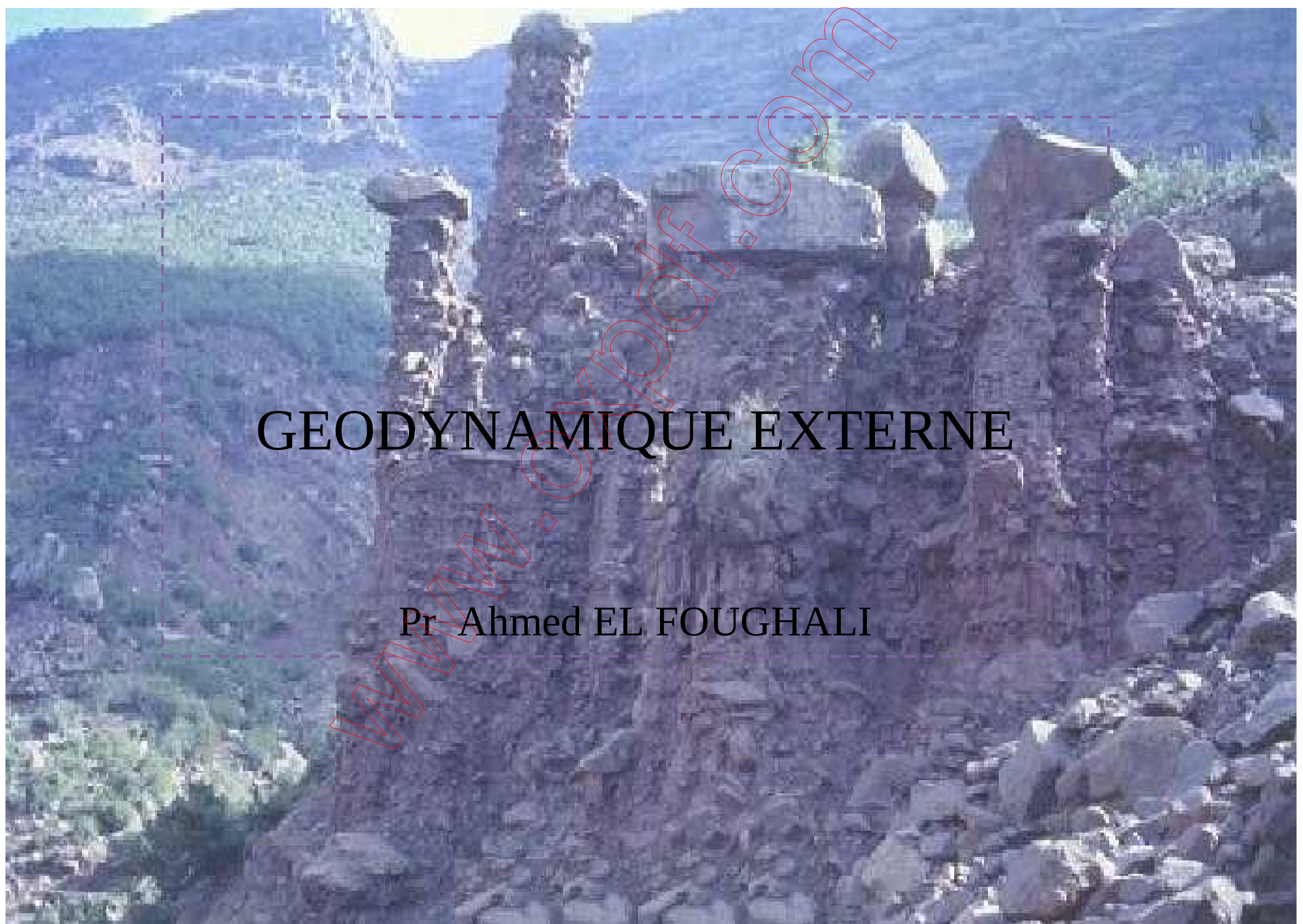






Département de Géologie
Filière SVI/STU
Module : Géologie II (S2)



GEODYNAMIQUE EXTERNE

Pr Ahmed EL FOUGHALI

Année universitaire 2010/2011

Préambule

Ce cours décrit les grands processus qui règlent la dynamique externe de la Terre. Il constitue une introduction aux sciences du milieu, en ce sens qu'il campe le décor dans lequel peuvent s'exprimer les processus de la vie sur terre.

Le relief des continents est façonné, modifié et …. par l'action des agents externes qui produisent l'altération, l'érosion et le transport des sédiments. Ces derniers seront déposés dans trois milieux ou domaines de sédimentation différents. La qualité et la constitution de ces sédiments sera déterminé par les conditions physique, chimique et hydrodynamique des milieux sédimentaires. Les roches ainsi formées seront à l'image de ces milieux.

Pour le géologue et tous ceux qui s'intéressent aux sciences de la terre pour diverses raisons, il s'gira alors de retrouver et reconstituer les différents étapes ayant abouti à cet état.

Ce cours est subdivisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, il s'agit de mettre en place les éléments climatiques régnant sur terre. Il n'est pas question de faire de la météorologie, qui est la science de déterminer les conditions climatiques sur de courtes durées, pour nous il s'agit d'étudier les grands phénomènes climatiques à l'échelle géologique, leurs évolutions dans le temps et dans l'espace ; et quelles sont les conséquences qui en ont découlés. Quels rôles ont-ils joué dans la formation du relief et son évolution.

Le deuxième chapitre s'attaquera à l'altération et ses différents types. On y traitera, en particulier, l'importance des climats dans cette altération, le rôle de la nature des roches et des minéraux et les résultats de cette altération.

Dans le troisième chapitre, on parlera de l'érosion, des différents facteurs de transport et les conséquences sur la formation et surtout le façonnement des différents modelés constituant les reliefs.

Le quatrième chapitre présentera l'origine des différentes roches sédimentaires ainsi que leur milieu de formation. Enfin il donnera les principales roches sédimentaires.

Ce manuel ne peut en aucun cas remplacer le cours qui est donné dans les amphithéâtres, car il est évident que certaines explications et démonstrations ne sont pas statiques et de ce fait ne peuvent faire l'objet d'une écriture linéaire. Il est donc vivement conseillé aux étudiants d'assister aux cours. D'autre part l'examen portant sur ce cours contiendra une bonne partie sur ces démonstrations et explications.

www.oxpdf.com

Climats et phénomènes climatiques

I- les climats actuels

1- Définition et généralités :

Le climat se définit comme étant l'ensemble des conditions atmosphériques d'une région. Il est déterminé à partir de données statistiques mesurées sur une période plus ou moins longue.

C'est un phénomène imprévisible et capricieux.

Le climat varie dans l'espace et dans le temps. La connaissance de la dynamique des climats actuels est l'une des clés pour analyser les climats du futur.

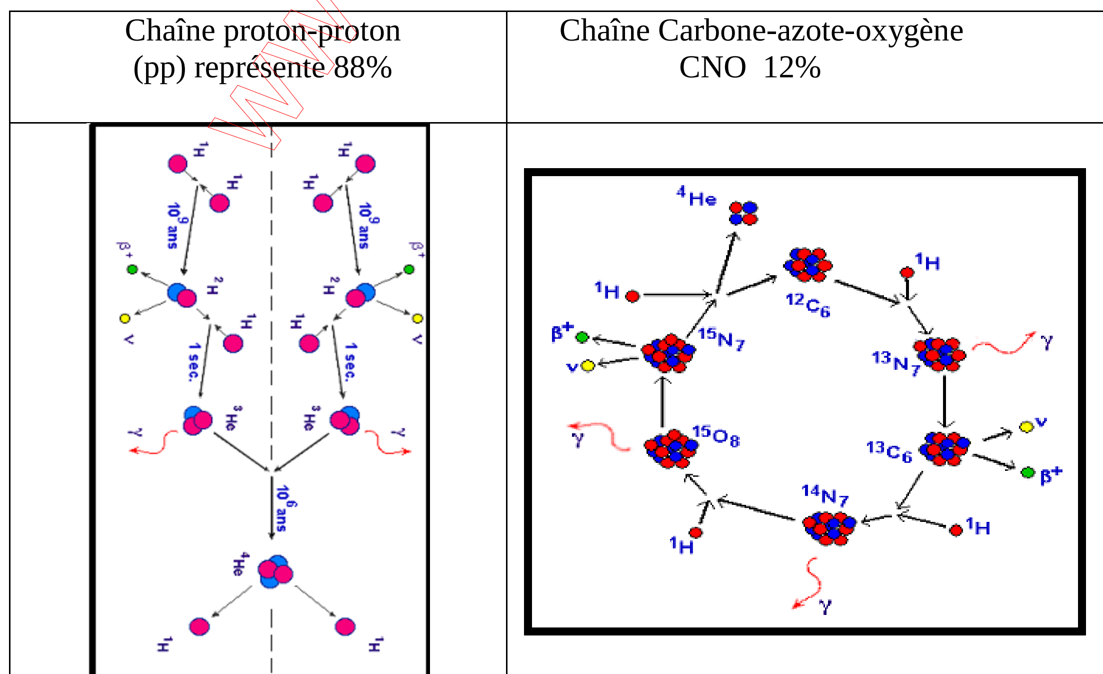
Les climats résultent de trois ensembles de facteurs :

- les facteurs cosmiques (la source d'énergie solaire : variation de l'activité solaire) ;
- les facteurs planétaires (répartition de cette énergie en fonction de la sphéricité de la Terre, de ses mouvements ; de l'état, en même temps que du dynamisme de l'atmosphère) ;
- les facteurs géographiques (les terres, le lien entre l'atmosphère et les océans, les reliefs, la végétation, les volcans, les installations humaines, etc..) ;

2- Rôle de l'énergie solaire

- Le soleil est le plus gros objet du système solaire avec:
    - Diamètre : 1,4millions de Km
    - Masse : 2 x 10^{30} Kg (300 000 fois celle de la terre) correspond à 99,8 % de la masse du système solaire
    - Energie solaire : fournie par la fusion nucléaire (hydrogène essentiellement) à partir de deux réactions :

Chaîne proton-proton (pp) représente 88%	Chaîne Carbone-azote-oxygène CNO 12%



www.sopdf.com

- La chaine proton-proton : ce sont des réactions de fusion nucléaire par lesquelles les étoiles transforment l'hydrogène en hélium. Dans un premier temps on a la formation du deutérium à partir de deux noyaux d'hydrogène, et dans un deuxième temps la formation d'un atome d'hélium. la première étape dure autour de 10 milliards d'année.
- La chaîne CNO : cette réaction se passe en six étapes avec un bilan global identique à la précédente.

La terre reçoit
- 1370 W/m^2
- 180 x 10^{15} W (énergie externe)
- 42 x 10^{12} W (énergie interne)

Variations
- entre le jour et la nuit
- en fonction des saisons
- en fonction de la latitude

Ensoleillement moyen : W/m2/24h

Latitude / saisons	90	70	50	30	0	- 30	- 50	- 70	- 90
21 Mars	0	149	280	378	436	378	280	149	00
22 Juin	524	492	482	474	384	213	80	0	0
23 Septembre	0	147	276	373	430	372	276	147	0
21 décembre	0	0	86	227	410	507	514	526	559

www.oxfor.com

- Importance de l'Energie solaire
  - 70 % absorbée (gain)
  - 30 % réfléchie (perte)
  - Conséquences :

L'énergie solaire chauffe les masses d'eau-→ Evaporation (plus de mille milliards de tonnes par jour)

→ Condensation

→ Nuages

→ Pluies grêle, neige

Chauffe les masses d'air qui devient moins dense –

→ Montée des masses d'air chaud

→ Descente des masses d'air froid

→ Formation des vents → vagues

Tous les processus de la géodynamique externe de notre planète sont conditionnés par l'énergie solaire.

3- L'eau

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer la présence de l'eau sur terre. L'hypothèse la plus courante est celle des **chondrites carbonées** (météorites pierreuses). La deuxième hypothèse est celle des **comètes**, lesquelles en s'écrasant sur la terre libèrent une certaine quantité d'eau. Enfin certains scientifiques pensent que les **enveloppes** formant la

terre contenaient, lors de la formation de notre planète, de l'eau sous forme de vapeur et que le **dégazage de celles-ci** en est à l'origine.

Cette eau est caractérisée par:

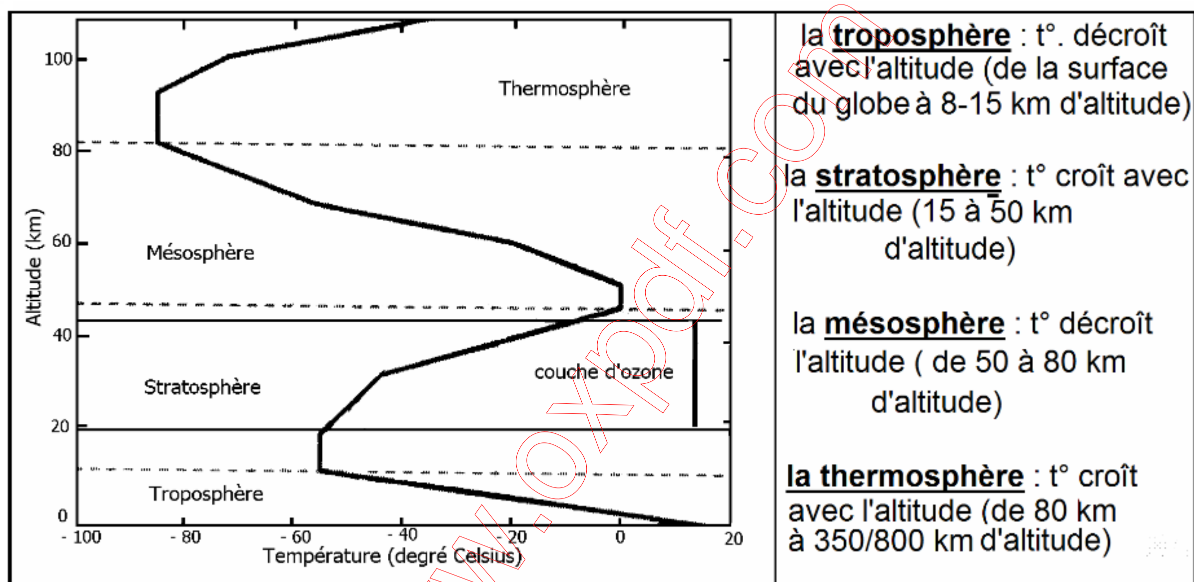
- Sa densité = 1
- Sa grande inertie thermique
- Enorme réservoir des océans
- sous forme de trois (3) états : gaz, liquide et solide (grâce aux conditions de pression et température)

Remarque : la terre est la seule planète du système solaire qui possède l'eau sous forme liquide.

4- Atmosphère

Enveloppe de gaz et de poussière (particules) entourant la terre.

Constitué dans le cas de la terre de 4 couches



www.oxpdf.com

- constituants gazeux

- *les constituants majeurs :*
  - dioxygène 20,94% (en volume) 23,14% (en masse)
  - diazote 78,03% (en volume) 75,63% (en masse)
  - l'argon 0,93 %

- *les constituants mineurs :*

• le CO2	373 ppmV
• les gaz rares	24 ppmV
• le méthane	1,4 ppmV
• les oxydes nitreux	0,5 ppmV
• l'hydrogène	0,5 ppmV
• l'Ozone	0,07 ppmV

- *les constituants anthropiques :*

  CO_2, CH_4,

Le gaz carbonique et le méthane sont considérés comme anthropiques car leurs taux ont augmenté énormément avec l'activité humaine. Ainsi les taux de ces deux produits chimiques ont évolué selon les valeurs suivantes:

CO_2		CH_4	
17ème siècle	280 ppmV	22 000ans	0,35 ppmV
1958	1958	vers 1700	0,70 ppmV
1999	373 ppmV	1990	1.72 ppmV

O_3

- Trioxygène formé de 3 atomes d'oxygène,
- découvert en 1839,
- gaz légèrement bleuté,
- le seul constituant atmosphérique capable de filtrer le rayonnement UV
- Deux types
  - Stratosphérique (le bon) protège des UV
  - Troposphérique (le mauvais) car il est toxique à la respiration et provient essentiellement des combustibles fossiles.

Les Fréons (les chlorofluorocarbures ou CFC)

- composés incolores, inodores, ininflammables,
- les premiers éléments sont apparus dans les années 30 comme réfrigérants puis comme gaz propulseurs.
- Ils ont été utilisés après dans les solvants, les extincteurs, la mousse de la matière plastique jusqu'à leur interdiction récente.

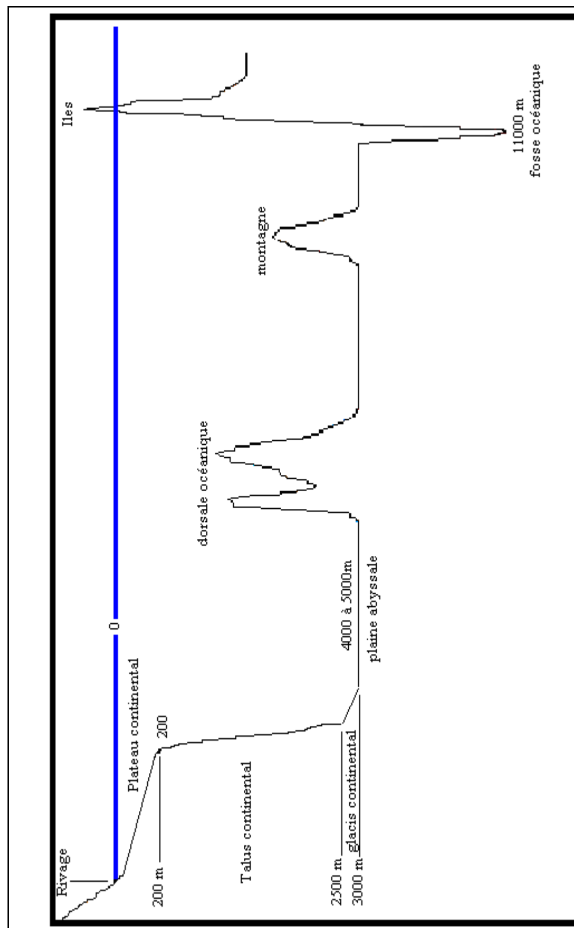
5- les océans

Définis comme étant une grande étendue d'eau salée, les océans et les mers occupent 71% de la surface terrestre. C'est un volume dont les eaux sont en permanence renouvelées par des courants marins.

Ils subissent en fonction de leur situation géographique une évaporation plus ou moins importante. Ils sont le siège d'échanges aussi bien en surface qu'en profondeur ; ce qui leur confère un rôle essentiel dans la régulation climatique.

a- Caractéristiques morphologiques

www.oxpdf.com



lateau continental : la Profondeur est variable, avec une moyenne mondiale autour de 200 mètres.
Largeur variable pouvant varier de quelques mètres jusqu'à des centaines de km.
La pente moyenne est de 0,2 % ou moins de 1°
Talus continental : profondeur comprise en moyenne entre 200 m à 2500 m.
une Pente moyenne de 3 à 6% 1 (5°)
Glacis continental : 2500 à 3000 m de profondeur. Pente moyenne 0,2 % (moins de 1°)
Plaine abyssale : 4000 à 5000 m de profondeur voire 6000m
Fosse océanique : D'une profondeur qui peut dépasser les 11000 mètres (le cas de la fosse des Mariannes), elle représente soit une ride médio-océanique soit la frontière de divergence entre deux plaques tectoniques.
Remarque : les profondeurs indiquées ne sont en aucun cas des valeurs absolues.
Le passage d'une zone à l'autre est donné par la rupture de pente.

Notion de marge continentale : c'est la zone marine qui se trouve dans le prolongement immédiat des continents. On définit deux types de marge continentale :

- Marge continentale passive : constituée d'un plateau continental, d'un talus continental, d'un glacis continental et l'absence d'une activité sismique. C'est le cas de la marge atlantique marocaine.
- Marge continentale active : caractérisée par un plateau continental réduit ou inexistant, un talus continental, une fosse océanique et une activité sismique. Cette dernière est du en grande partie à du volcanisme. Cas de la plupart des marges bordant l'océan Pacifique.

b- Caractéristiques physicochimiques

Les gaz dissouts dans l'eau de mer sont constitués essentiellement d'azote(64%) et d'oxygène (34%). Ces valeurs diminuent quand la température et la salinité augmentent. La proportion de CO_2 est 60 plus forte dans la mer que dans l'air (1,8% au lieu de 0,03%).

- Température

Elle est variable, de 30°C, jusqu'à 0°C. Elle peut devenir négative dans certaines régions. Elle varie en fonction de la profondeur et de la latitude

www.oxpdf.com

- pH

Légèrement alcalin, 7,5 à 8,2, il dépend de la photosynthèse donc de la teneur en Carbone.

- Salinité

C'est la principale caractéristique du domaine marin. Elle est définie comme étant la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1 kg d'eau de mer. Cette salinité n'est pas uniforme dans toutes les mers. C'est un équilibre entre les eaux apportées par les fleuves et les pluies et l'évaporation. Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs de salinité de certaines régions.

moyenne des océans	35 g/l,
Méditerranée	37 g/l
Atlantique nord	30 g/l
mer Rouge	40 g/l
mer Baltique	6 g/l
mer Morte	330 g/l

Principaux composants d'une **eau de mer** de salinité 35 :

Anions (en g/kg)		**Cations** (en g/kg)	
Chlore Cl^-	18,9799	Sodium Na^+	10,5561
Sulfate SO_4^{--}	2,6486	Magnésium Mg^{++}	1,2720
Bicarbonate HCO_3^-	0,1397	Calcium Ca^{++}	0,4001
Brome Br^-	0,0646	Potassium K^+	0,3800
Fluor F^-	0,0013	Strontium Sr^{++}	0,0135

c- <u>Caractéristiques hydrodynamiques</u>

- Généralités

Les mouvements des masses d'eau sont générés par :

- les hétérogénéités de température
- les écarts de salinité,
- la rotation de la Terre (à l'origine de la force de Coriolis)
- la circulation des masses d'air au niveau de la surface libre

Les courants sont causés par :

- des différences de température entre l'équateur et les pôles
- des écarts de salinité.

<u>Remarque</u> : Force de Coriolis. Toute masse fluide en mouvement à la surface de la terre est influencée par un phénomène appelé la force de Coriolis qui dévie sa trajectoire vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Cette force formulée par l'expression suivante, $\mathbf{F = -m\Omega{\wedge}Vr}$, est maximum aux pôles et nulle au niveau de l'équateur.

www.oxpdf.com

La circulation de surface : L’ensoleillement inégal de la surface du sol et des océans est à l’origine des vents. Ceux-ci vont provoquer d’une part, les vagues, et d’autre part vont transmettre une énergie cinétique qui est à l’origine des courants de surface, représentés essentiellement par les alizées.

La circulation profonde : Dans les océans les eaux sont stratifiées en fonction de la densité. L’origine et le comportement des masses d’eau ont pu être déterminés par l’étude de la température et de la salinité.

La circulation thermohaline

Circulation permanente due à des écarts de température et de salinité des masses d'eau avec:

Profondeur jusqu’à 1000 à 3000m

Les eaux sont stratifiées

Un impact aujourd'hui mal mesuré sur le climat.

Circulation très lente 1mm/s, et transporte 20 x 10^6 m^3/s

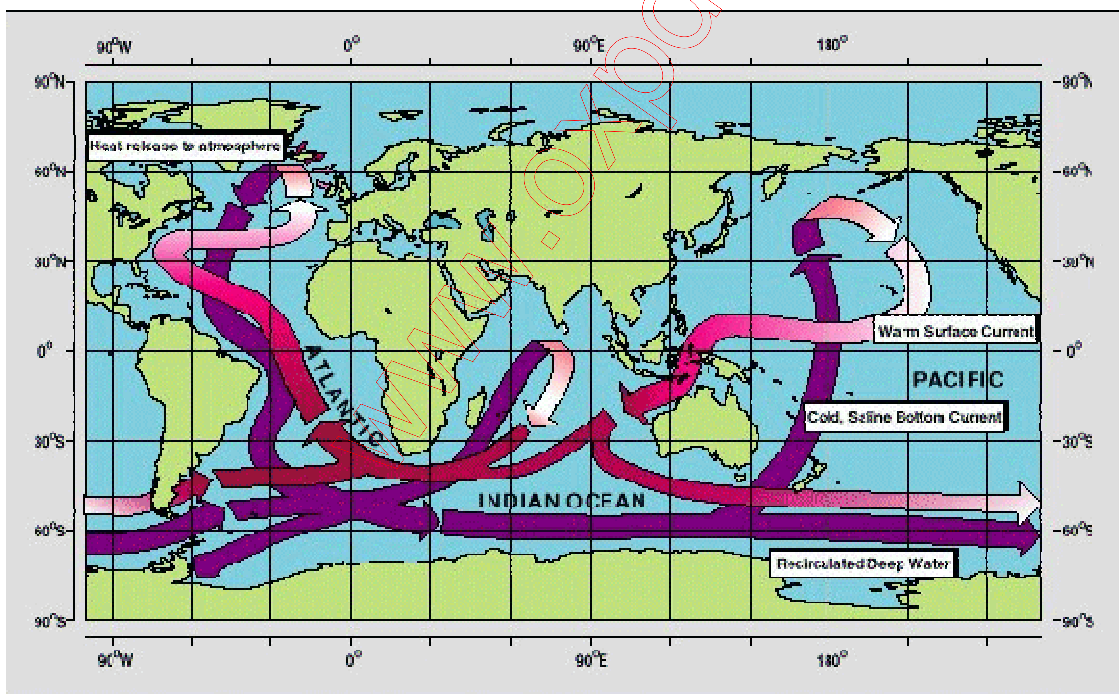
La thermocline :

C’est une couche de transition entre les eaux de surface chaudes et les profondes plus froides (200 à 800m). Elle correspond à une zone de changement rapide de la température.

www.oxpdf.com

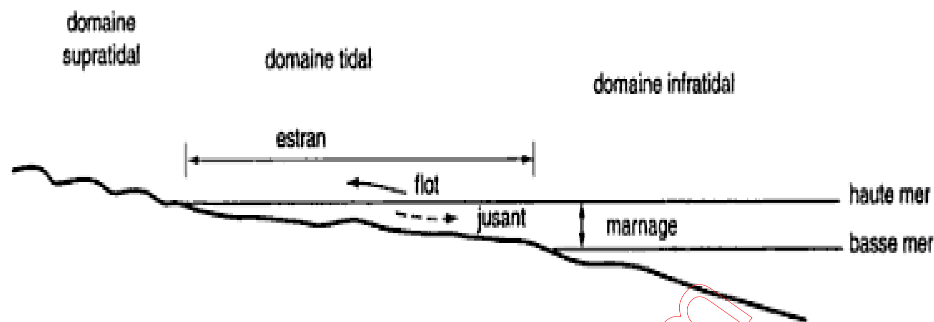
LA CIRCULATION THERMOHALINE

Un élément clé pour comprendre la circulation océanique globale



D'après W. Broecker, modifié par Maier-Reimer

- principaux courants marins :
  - *Les marées* : attraction gravitationnelle exercée par un astre (Soleil et Lune dans le cas de la terre). Cette attraction va entrainer une déformation
    - Flot : courant créé par la marée haute.
    - Jusant : courant crée par la marée basse



Domaine tidal, l'estran et le marnage.

Le flot et le jusant interviennent à chaque marée sur le domaine de l'estran. Selon le cycle et les saisons ce domaine varie de dimension et le marnage est plus ou moins important.

  - *Dérive littorale* : migration progressive le long du littoral de masses de sédiment sous l'action de houles obliques par rapport à la côte. Ce courant peut provoquer parfois des érosions importantes, surtout en période de tempête.

  - *Turbidité* : créé par le glissement de sédiments sur une pente (Talus continental, fosse océanique, Canyon sous marin..). ce courant dépend du poids des sédiments et de la pente. Il peut être provoqué par des séismes ou des explosions artificielles.

  - *Upwelling* : courant marin ascendant, remontant vers la surface. Il est dû à des conditions météorologiques particulières, vent, pression atmosphérique, évaporation. Il a deux conséquences :

    - l'établissement d'un courant des eaux froides vers la surface
    - remontée vers la surface des nutriments, ce qui aura pour conséquence un enrichissement des eaux en de surface en biomasse.

  - *Le Gulf Stream* prend naissance dans le Golf du Mexique, il est constitué de la fusion du courant de Floride, du courant de Cuba et du courant nord équatorial. C'est un courant chaud de 24°C à 28°C. C'est un véritable fleuve, de 80 à 150 km de large, 800 à 1200 m de profondeur, Vitesse de 2,5 m/s (9 km/h), et dont les bords sont visibles à l'œil nu. Il est en partie responsable du réchauffement des côtes européennes.

www.oxpdf.com

II- les climats anciens ou paléoclimats

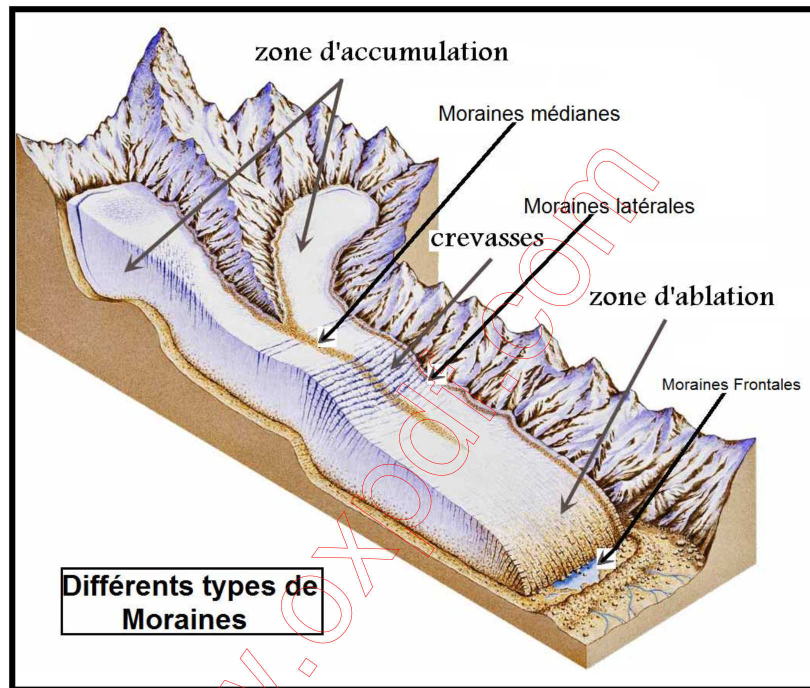
Un paléoclimat est l'ensemble des conditions atmosphériques ayant régné sur une région donnée, pendant une période donnée**.**

1- **<u>Les archives de la terre</u>**

a- <u>les archives continentales</u>

Les empreintes et les matériaux. Abandonnés par les masses glaciaires

- sillons et cannelures = sens d'écoulement
- moraines : plusieurs types de moraines en fonction de leur lieu de situation, dans le glacier. les moraines quand elles sont compactées ◊des Tillites.



www.oxpdf.com

- *Remarque* : Pb les moraines sont souvent difficiles à dater à cause de la rareté de la matière organique

Les biomes végétaux : les végétaux sont souvent liés aux conditions climatiques grâce à l'analyse des pollens qui sont des structures très résistantes à la dégradation.

- les arbres et surtout les chênes correspondent à des épisodes chauds.
- Les plantes herbacées indiquent plutôt des épisodes froids.

b- <u>les archives glaciaires</u>

Les 500 000 dernières années sont les mieux connues grâce aux archives glaciaires.

La formation des glaciers à partir de la neige est un assemblage de cristaux dont la taille dépend de la Pression.

À basse température (-30 à - 40°) cette Pression est basse ◊ de petits cristaux en forme de prisme

Quand la température est plus élevée ◊ des formes plates dendritiques ou en aiguilles.

La composition de l'air recueilli est un témoin fidèle de celle de l'atmosphère passée
Les calottes glaciaires recueillent une partie des poussières et des aérosols contenus dans l'atmosphère, et constituent donc un indicateur des temps passés

c- les archives marines

Les sédiments océaniques fournissent des associations des microfossiles qui permettent de reconstruire les conditions climatiques d'une région

Comparer les pourcentages des différentes espèces microfossiles dans les sédiments de surface récents aux températures moyennes mensuelles actuelles et on note les températures moyennes mensuelles par rapport à l'abondance des différentes espèces

Certaines roches sédimentaires sont liées à un climat chaud c'est le cas des évaporites ex : le Gypse.

D'autres sont liées à un climat froid ex: les tillites

Certaines espèces animales marines sont liées à des climats chauds ex: Patella ferruginea

D'autres espèces sont liées à des climats froids ex: Cyprina islandica

www.oxpdf.com

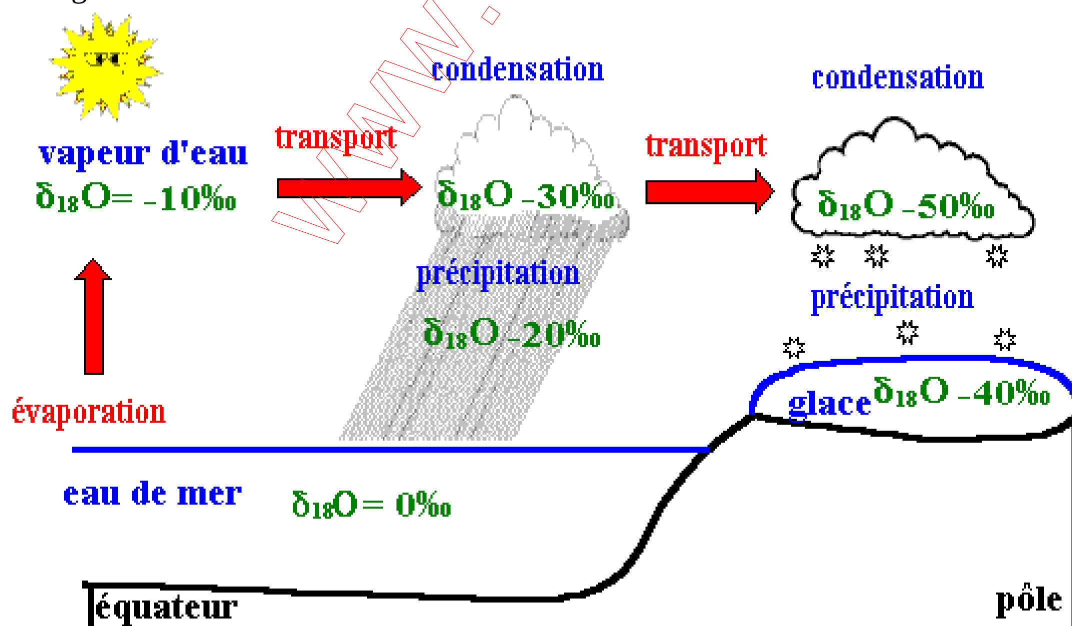
d- les isotopes stables

Certains isotopes ont la propriété de rester stables pendant le temps (H, O, C, N, O, S).

Pour l'oxygène, il existe plusieurs isotopes dont les plus courants sont l'oxygène 18 (O^{18}) l'oxygène 16 (O^{16}).

Si on prend comme référence la période actuelle avec une variation de l'O^{18} = 0 des eaux marines. Alors en période froide, l'eau de mer sera enrichie en O^{18}, à l'inverse en période chaude on aura une mer appauvrie en O^{18}.

Cet état va se répercuter sur le rapport O^{18}/O^{16} des tests des différents organismes.



2- Les grandes variations climatiques

- *les climats Précambriens*
- le paradoxe archéen

A la formation de la terre, celle-ci recevait 75 % d'ensoleillement par rapport à l'actuel ; ce qui devrait donner une planète totalement recouverte de glace. Ce qui n'a pas été le cas.

Explication :

- Dégazage de la croûte terrestre → quantité importante de CO^2
- Vapeur d'eau très élevée à cause d'une importante surface océanique

Ces deux facteurs sont à l'origine de l'effet de serre

- les glaciations huroniennes
- vers - 2,3 milliards d'années : coïncide avec l'expansion des stromalites
- fin du Précambrien : 3 glaciations

940 Millions d'année
770 Millions d'années
615 millions d'années

→ Obliquité du plan de l'Ecliptique

- *le Paléozoïque* (570-250 millions d'années)

Période chaude sauf l'Ordovicien avec une brève période glaciaire
La forêt carbonifère (dépôts de charbon)
Le climat devient ensuite plus froid et plus sec annonçant la glaciation permienne

- *le Mésozoïque*

Longue période chaude tous les continents sont soudés → Pangée
Climat chaud et sec type continental
La plus grave crise de la biosphère (90% des espèces disparaîtront)
le niveau de la mer estimé 200 à 300m plus haut
Fin du crétacé refroidissement bref.

DIPARITION DE DINOSAURES

- *Le Cénozoïque* : période la mieux connue

Eocène : les températures sont encore élevées à la fin (vers 34 Ma), refroidissement sévère du climat.

Ces variations ne sont pas identiques partout. Elles sont fonction, entre autres, des courants marins (fermeture de la Téthys et ouverture de l'Atlantique, le Pacifique et l'Océan indien)

Les glaciations quaternaires (4 en Méditerranée)

- le Gunz de 1,6 à 1,3 Ma BP
- le Würm de 0,9 à 0,7 Ma BP
- Le Riss de 0,55 à 0,4 Ma BP
- Le Mindel 0,1 à 0,01 Ma BP

www.oxpdf.com

Remarque : Au Maroc et d'une façon générale en Afrique du Nord et dans les régions intertropicales, il y a très peu de trace de vraies périodes glaciaires et de ce fait on utilise la terminologie de pluvial et d'interpluvial.

En paléoclimatologie, on nomme pluviale une période de précipitations abondantes et violentes, suivies de périodes plus sèches, dites interpluviales. Ces alternances de climat ont produit leurs effets, au cours du Quaternaire, dans la zone intertropicale. Il est à noter que l'on utilise parfois le mot pluviaire, par analogie avec glaciaire, pour désigner la période pluviale.

Le problème le plus important à résoudre pour le Quaternaire est celui de la concordance existant ou non entre les glaciaires et les interglaciaires des zones tempérées et froides actuelles et les pluviaux et les interpluviaux des zones intertropicales. Si, en ce qui concerne l'ouest des États-Unis et le nord du Sahara, il semble bien que les pluviaux correspondent aux glaciaires, au moins dans leurs grandes lignes, il n'en est pas de même pour la bordure méridionale du Sahara, où c'est l'inverse qui se produit.

3- les grandes crises biologiques

Une crise biologique correspond à une extinction massive d'êtres vivants
Elle touche des taxons variés.
Elle a des conséquences sur une grande échelle.
Elle a lieu sur une échelle géologique courte. (10 000 à 1 million d'années).

La terre a connu plusieurs grandes biologiques, mais deux sont particulièrement importantes :

- **Crise crétacé-tertiaire**

* Domaine marin

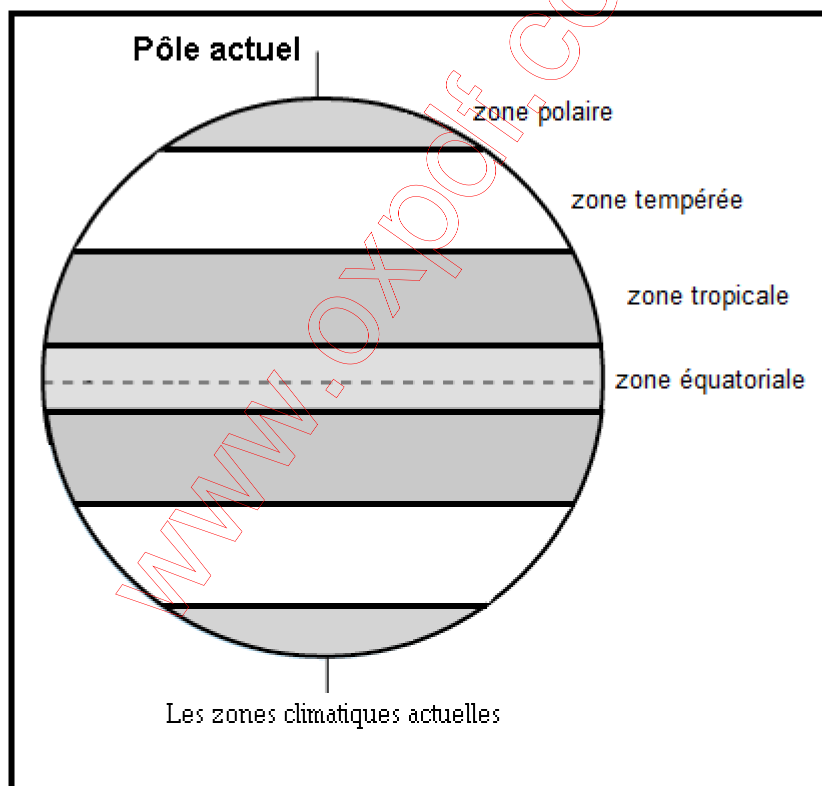
Disparition de 15% des familles, 45% des genres, 76% d'espèces
Disparition de 80% du plancton
Disparition ou forte diminution des ammonites, des bélemnites, des rudistes et des reptiles marins.
Seuls les animaux des grands fonds ne sont pas touchés

- Domaine continental
  - Pas de changement notable au niveau de la végétation
  - Tous les dinosaures et reptiles volants disparaissent
  - Les vertébrés sont touchés d'une façon inégale
  - Seuls les organismes d'eau douce sont épargnés
- Autres événements
  - Régression marine
  - Baisse de la température de 5° en moyenne
  - Intense volcanisme (trapps du Deccan)
  - Un niveau riche en Iridium
  - Quartz choqués
  - Magnétites nickélifères
  - Trace d'un impacte de météorite de 250 km de diamètres

www.oxpdf.com

- **Crise du Permo-Trias**
    - 83% des genres et 96% des espèces du milieu marin seront touchés
    - Ammonites, brachiopodes, échinodermes, bryozoaires seront particulièrement touchés.
    - 75% des familles de vertébrés et 63% des insectes disparaitront
    - Sur le plan géologique:
        - Formation de la Pangée au Permien
        - Régression marine
        - Dépôts d'évaporites
    - Sur le plan climatique
        - Glaciation du Permien
        - Tendance à l'aridité
        - Climat plus chaud et mois contrasté entre les pôles et l'équateur

III- Zones climatiques



www.oxpdf.com

1- Zone équatoriale
   0 à 20° de latitude
   Caractérisée par :
      Des pluies abondantes
      Des pressions faibles

2- Zone tropicale
   - Zone des déserts chauds
   - 20 à 30° de latitude

- Caractérisée par
  - Des pluies faibles
  - Des pressions élevées

3- Zone tempérée
30 à 60° de latitude
Pressions basses
Pluies importantes
Elle comporte 3 types de climat:

Climat méditerranéen
Assez chaud et sec

Climat continental
Variations importantes de températures
Ex: Marrakech

Climat océanique
Variations faibles de température
Ex: Essaouira

4- Zone polaire
Zone des déserts froids (ex l'Alaska)
Hautes Pressions
Pluies faibles

IV- quelques phénomènes climatiques

1- L'effet de serre : c'est un processus naturel ayant comme conséquence le réchauffement de la planète. D'une façon générale il s'agit pour un corps qui reçoit de l'énergie électromagnétique d'avoir, à sa surface, une température supérieure à une situation sans effet de serre.

Si on prend le cas de la terre, sans effet de serre, la température moyenne à la surface serait de –18°C. Ce qui donnerait une terre recouverte de glace, ce qui n'est pas bien sur le cas; car la température moyenne réelle est de + 15°C; et c'est l'effet de serre qui est responsable de cet état.

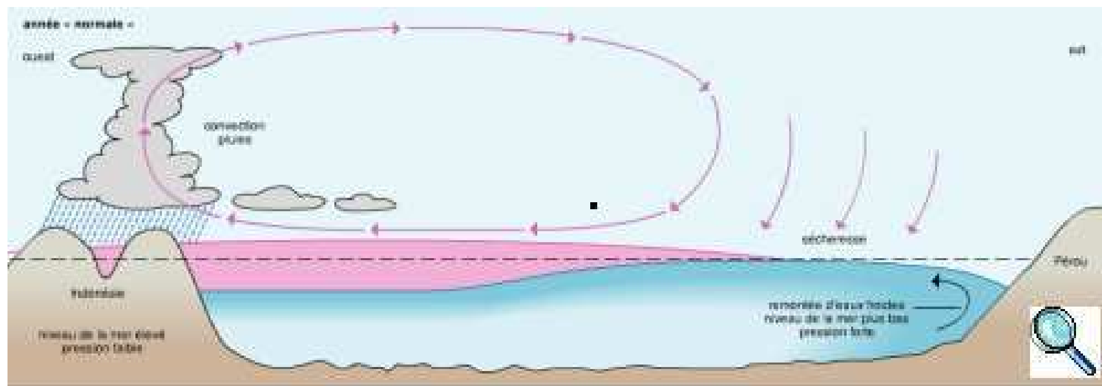
En effet l'atmosphère actuelle s'enrichit en gaz à effet de serre (G.E.S.), ce qui augmente la température de la basse atmosphère par réémission des infrarouges. Ces gaz sont le gaz carbonique, le méthane, l'ozone troposphérique et les chlorofluorocarbures (C.F.C)

2- El Niño : apparaît au mois de Décembre (Noel, d'où le nom de l'enfant Jésus) sur les côtes péruviennes et caractérisé par:

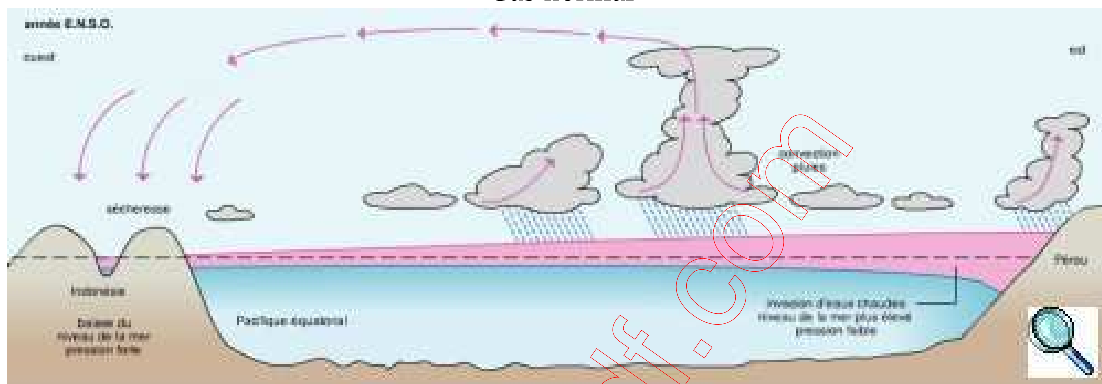
- une augmentation anormale de la température des eaux.
- Raréfaction des poissons
- Pressions atmosphériques augmentent à l'ouest du Pacifique, alors qu'elles diminuent sur la côte américaine.
- Pluies rares du coté de l'Indonésie et Australie

Les figures ci-dessous donnent l'explication du phénomène. Celles-ci montrent que c'est l'arrêt des alizées qui va entrainer l'arrêt de l'Upwelling.

www.oxpdf.com



Cas normal



Cas El Niño

3- les tornades : ce sont des tempêtes tourbillonnantes très intenses se manifestant par un entonnoir nuageux accordé à la base d'un cumulus_nimbus s'accompagnant de pluie voir d'un orage ou de grêle.

4- Un cyclone : Un cyclone est une perturbation atmosphérique sous l'aspect d’une grosse masse nuageuse en bandes spirales, associé à une dépression très creuse avec des vents tourbillonnant de plus de 120 km/h

5- Les orages :Ce sont des perturbations atmosphère violentes, accompagnées d'éclairs accompagnés de coups de tonnerres au milieu des rafales, d'averses de pluie voir de grêle.

6- Les tempêtes Une tempête: c'est une perturbation due à des basses pressions atmosphériques. Caractérisées par des vents violents qui tournent autour d'un centre dépressionnaire, dans le sens inverse d'une aiguille d'une montre dans l'hémisphère nord et inverse dans l'hémisphère sud.

www.cvpdf.com

Chapitre 2

L'altération

Définition : Modification des propriétés physico-chimiques des minéraux et donc des roches par les agents atmosphériques.

1- les différents types d'altération

a- Désagrégation Physique.

Due à la présence dans toute roche de discontinuités (zones de faiblesse) : joints sédimentaires, diaclases (ou failles), clivage et discontinuité entre les grains ou les feuillets ; elle nécessite aussi la présence d'eau mais surtout une variation de température conséquente.

Thermoclastie → Dilatation et contraction différentielle des minéraux (desquamation ou exfoliation) détachement d'une croûte ou désagrégation granulaire (Granite).
Cryoclastie ou gélifraction →Variation de température ex : craies et marnes (roches gélives).

Prismation des coulées de lave → refroidissement de la lave, se forme un réseau de fissures.
Circulation interstitielle → dissolution intense dans les roches calcaires surtout si elle est riche en CO_2.

Holoclastie →embruns riches en sel qui après dessiccation et puis réhydratation augmentent de volume de volume → désagrégation de la roche (phénomène actif sur les côtes où il conduit à des alvéoles et de Taffoni).

Action des impactes : traces fossilisée de gouttelettes de pluies sur certaines roches argileuses.

b- altération chimique

Le facteur le plus important est l'eau, elle se trouve à l'origine de toutes les altérations exogènes des roches.

- elle se comporte comme un acide faible.
- La molécule d'eau se comporte comme un dipôle O- et H+, H+ dont la force d'attraction vis à vis d'un ion détermine sa solubilité
- Cette force appelée potentiel ionique qui est représentée par le rapport, **charge ionique/ rayon ionique ou e/r**.

www.oxpdf.com

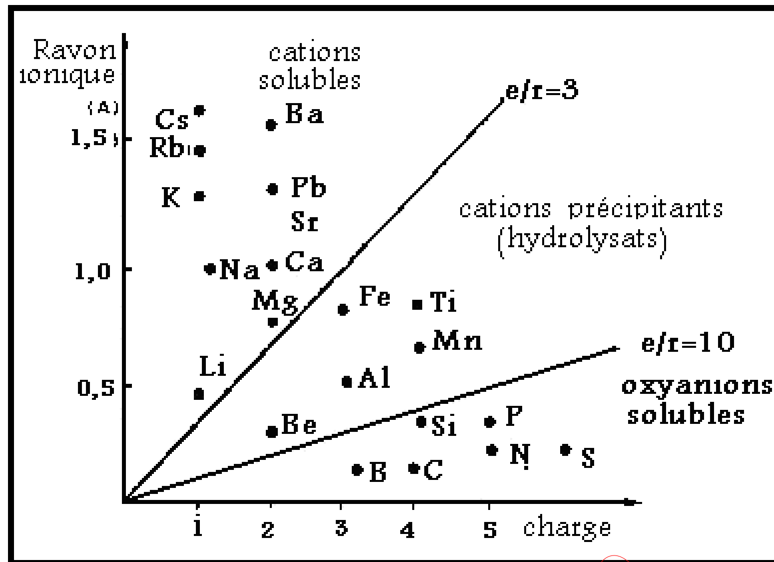


Diagramme de GOLDSCHMIDT

Ce diagramme délimite 3 familles :

- les cations solubles.

Les ions à potentiel ionique bas (rapport ≤ 3), ils ont une charge faible mais une taille importante et sont attirés par l'eau et donc soluble dans celle-ci. Ceux dont le potentiel < 1, ont peu d'attirance pour l'eau. Ex: le potassium (K) et le Rubidium (Rb) et donc peu solubles.

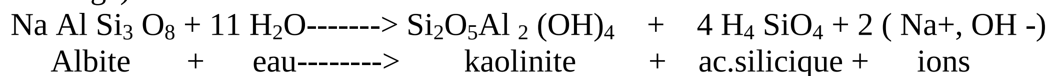
- Les hydrolysats.

Rapport compris entre 3 et 10, ex. Mg, Fe, Ti, Al, en présence se transforment en hydrolysats en fixant les OH^- pour donner des complexes insolubles.

- Les oxyanions

Avec un rapport ≥ 10 (ex. C, N, Si, P, S.), Ces ions s'associent à l'oxygène de l'eau pour former des sulfates, carbonates ou phosphates. Ils sont solubles à cause de leur forte charge électrique.

Minéral primaire (roche en place) + solution d'attaque (eau chargée) → Minéral secondaire (complexe d'altération, sol) + solution de lessivage (eau de drainage)


$NaAlSi_3O_8 + 11\,H_2O$-------> $Si_2O_5Al_2(OH)_4$ + $4\,H_4SiO_4 + 2\,(Na^+, OH^-)$

Albite + eau--------> kaolinite + ac.silicique + ions

Dans tous les cas l'eau agit de trois façons :

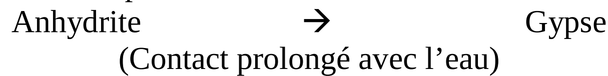
- la dissolution

Elle entraine :

- une solubilité directe c'est le cas du Gypse
- une solubilité indirecte, par transformation d'un minéral soluble en un minéral plus soluble (cas des carbonates)

- l'hydratation

Fixation de molécules d'eau par certains minéraux



Anhydrite → Gypse

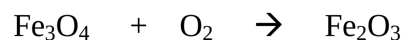
(Contact prolongé avec l'eau)

- l'hydrolyse

C'est le phénomène principal dans l'altération des roches magmatiques
Réaction chimique d'un corps qui fixe les éléments de l'eau (H^+ et/ou OH^-)
→ Nouveaux composés = minéraux de Néoformation (minéraux argileux)
Kaolinite essentiellement.

Rôle de l'Oxygène

Oxydation de certains minerais (Fe et Mn) (changement de couleur)



$$Fe_3O_4 + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$$

Rôle du Gaz carbonique

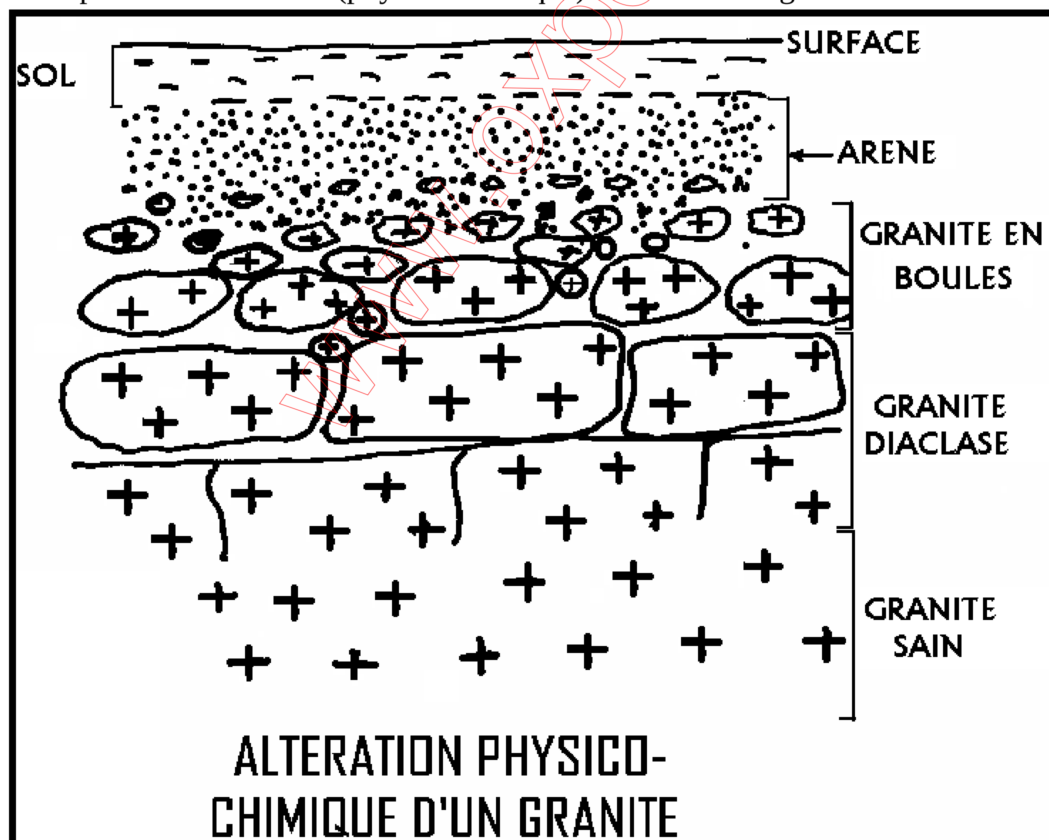


$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \leftrightarrow Ca(CO_3H)_2$$

Renforce l'action de l'eau

Permet le départ des bases sous forme de carbonate ou bicarbonate soluble.

Exemple d'une altération (physico-chimique) en boule d'un granite



2- les résultats de l'altération

a- importance des roches et leur constitution

Les roches magmatiques et roches métamorphiques
Altération = f(minéraux, et structure de la roche)

- La taille et nature des minéraux
- structure de la roche

- tétraèdre stable : Si_4O_8
- tétraèdre instable : AlO_4
- points de faiblesse : clivages, macles, fissures, pores, interstices

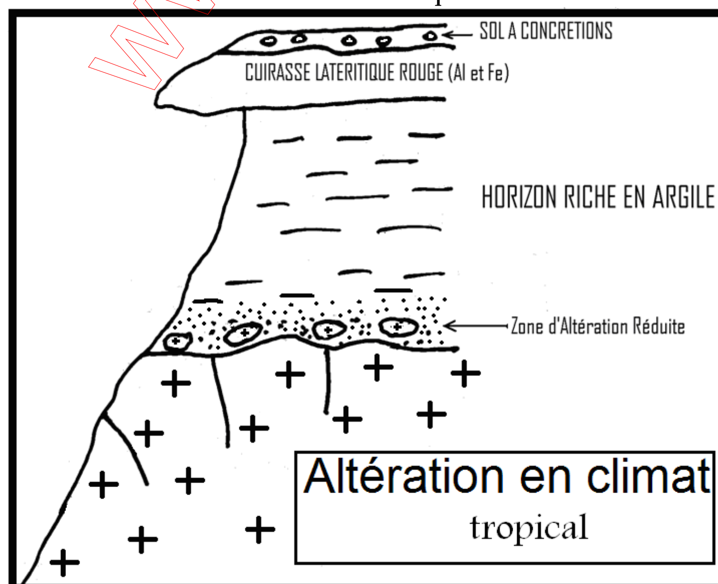
Olivine .plagioclases Ca
Augite plagioclases Ca-Na
Hornblende .plagioclases Na-Ca
Biotite plagioclases Na
Feldspaths K
Muscovite
Quartz

Les roches sédimentaires
Généralement moins altérables, car elles sont le résultat d'un long procéssus qui a amené à leur formation.
Leur hydratation donne les résultats suivants :

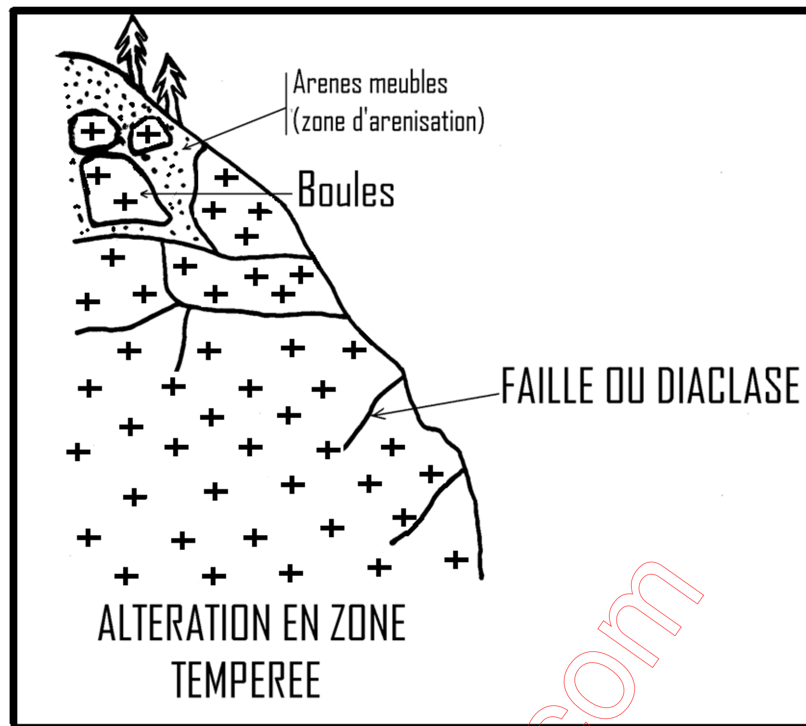
- sulfures --> sulfates
- schistes --> argiles
- anhydrites --> Gypse

Dissolution : les chlorures, les nitrates, et les sulfates sont solubles dans l'eau pure.

b- rôle des climats
Climat désertique → altération physique
Climat chaut et humide → altération chimique

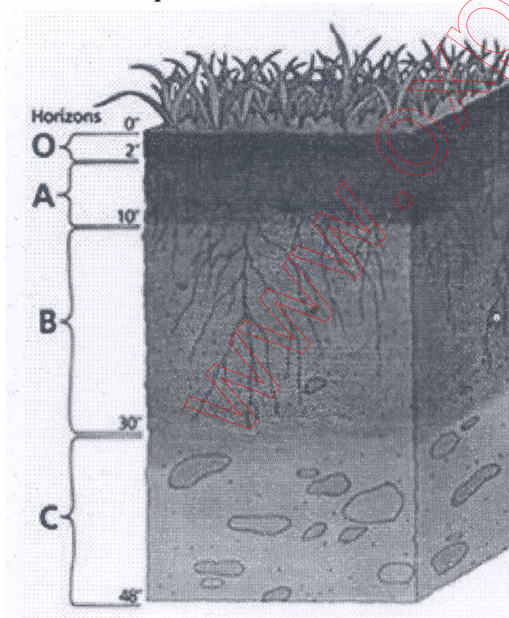


www.oxpdf.com



c- les sols et les différents types de sol

- caractéristiques d'un sol



www.cypdf.com

Un sol peut être considéré comme étant le stade final d'une altération. En fonction des régions climatiques et des types de roches, un sol présente plusieurs horizons.

+ Les éléments minéraux essentiels d'un sol sont les argiles, les carbonates et les oxydes.

+ La Fertilité d'un sol dépend de deux facteurs :

- argile : rétention d'eau et échanges d'ions qui permettent de retenir les éléments de fertilisants naturels ou apportés (engrais).

- Matières organiques : complexes argilo humiques → possibilité d'aération et d'hydratation.

+ Un bon sol agricole est constitué de

- 25% d'eau,
- 25% d'air,
- 45% de matière minérale
- 5% de matière organique

- les différents types de sol

  - les sols résiduels :

    Horizons superposés, fortement lessivés dans les régions humides et donc peu fertiles ; alors que dans les régions arides, ils sont fertiles pour les raisons inverses ;

  - les sols transportés

- les sols d'éboulis :

Matériaux grossiers,
Jamais stratifiés,
Peu fertiles (en général)

- les sols alluviaux :

Dans les lits majeurs des rivières, deltas et les cours d'eau abandonnés.
Généralement très fertiles : apports nutritifs abondants et variés

- les sols glaciaires :

Éléments anguleux grossiers avec des éléments très fins.
Fertilité variable,

- les sols lacustres :

Eléments généralement fins
Fertilité variable à cause des bactéries (destruction de l'humus)

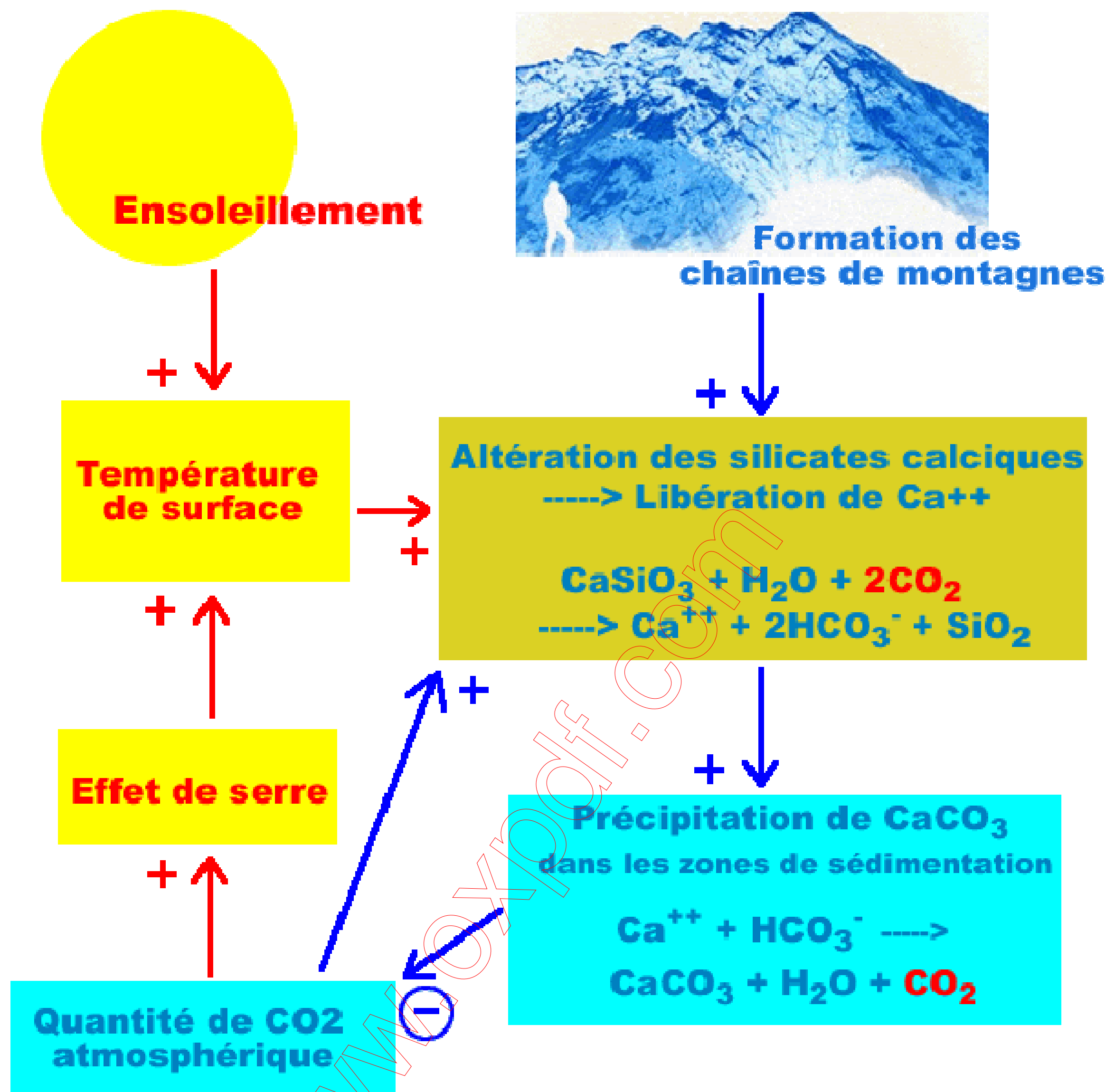
- Sols lagunaires

Ce sont des sols formés de sables plus ou moins grossiers. Ils sont caractérisés par une salinité élevée, ce qui fait que seul une végétation halophile peut s'y développer. Cependant la fréquentation de ces zones par du bétail peut rendre ces sols fertiles.

- les sols éoliens :

Généralement fins soit des sables soit des lœss
Fertilité variable :
§- les dunes sont des sols peu fertiles ;
§- les lœss sont fertiles

www.oxpdf.com



www.oxpdf.com

Altération des silicates et sédimentation des carbonates

- L'altération des silicates des roches magmatiques ou métamorphiques s'écrit :



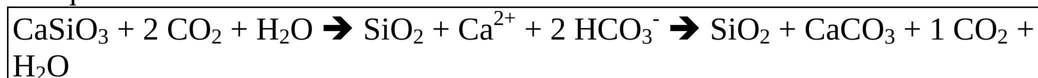
$CaSiO_3 + 2CO_2 + H_2O \rightarrow SiO_2 + Ca^{2+} + 2\ HCO_3^-$

- La précipitation des carbonates dans les océans s'écrit :



$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$

- L'équation bilan montre que deux molécules de CO2 sont consommées et qu'une seule est libérée :



$CaSiO_3 + 2\ CO_2 + H_2O \rightarrow SiO_2 + Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- \rightarrow SiO_2 + CaCO_3 + 1\ CO_2 + H_2O$

Chapitre 3 :

L’EROSION (TRANSPORT)

Définition : L’érosion est l’ensemble des phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur enlèvent tout ou partie des terrains existants, modifiant ainsi le relief.

Le stade ultime d’une érosion est la formation d’une pénéplaine.

1- l’action de l’eau :

a- généralités

C’est le facteur d’érosion le plus important. Les eaux de précipitations arrivent au sol et se repartissent en trois parties :

Une partie s’évapore (eaux d’évaporation)
Une partie s’écoule à la surface du sol (les eaux de ruissellement)
Une partie s’infiltre et alimentera les eaux souterraines (eaux d’infiltration)

L’importance de chacune de ces trois parties est fonction de 4 facteurs :

Le climat : chaud, froid….
La nature de la roche : perméable, imperméable
Le relief : plaine, pente…
Le type de précipitations : orage, pluie fine…

les différents types d’écoulement et leurs conséquences :

b- Les eaux de ruissellement :

On les appelle les eaux sauvages à cause de leur écoulement anarchique, en petits filets à la surface du sol.

Le résultat est fonction de la nature du terrain :

Terrains homogènes

Ravinement : sur un terrain argileux, marneux ou schisteux et après une forte pluie, les eaux empruntent les fissures du sol qui vont s’élargir peu à peu pour donner des rigoles (vallées très encaissées) par disparition des interfluves

Remarque : les effets de cette érosion sont souvent catastrophiques car elle aboutit à des « bad-lands »

Lapiez : dans le cas où les eaux sont riches en gaz carbonique et sur un terrain calcaire on aboutit à des lapiez (lapiaz).

Terrains hétérogènes

Dépôts morainiques, ces eaux entraînent les sédiments fins. Des blocs resteront perchés pour former :

- les « cheminées de Fée »
- les « demoiselles coiffées ».

www.oxpdf.com



Demoiselles coiffées

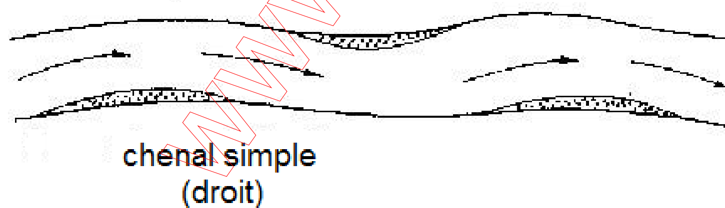
Les écoulements en nappe

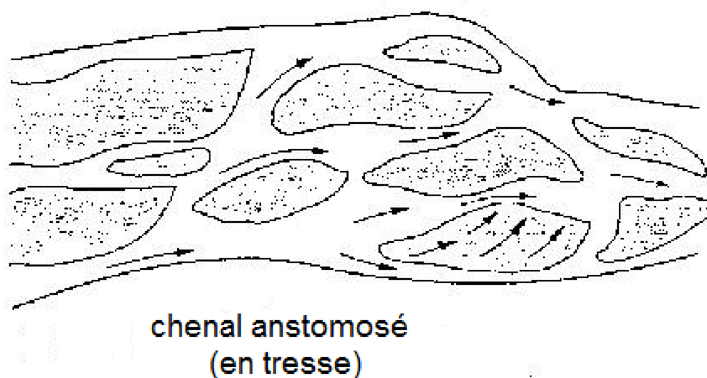
Après un orage, l'eau s'écoule à la surface du sol qui est saturé, sous forme d'une nappe continue. Ces écoulements se rencontrent généralement dans les zones désertiques ou subdésertiques.

Les eaux chenalisées ou canalisées

Caractéristiques

Ce sont des eaux circulant dans un chenal ou lit (simple ou anastomosé)





www.oxpdf.com

Elles sont caractérisées par :

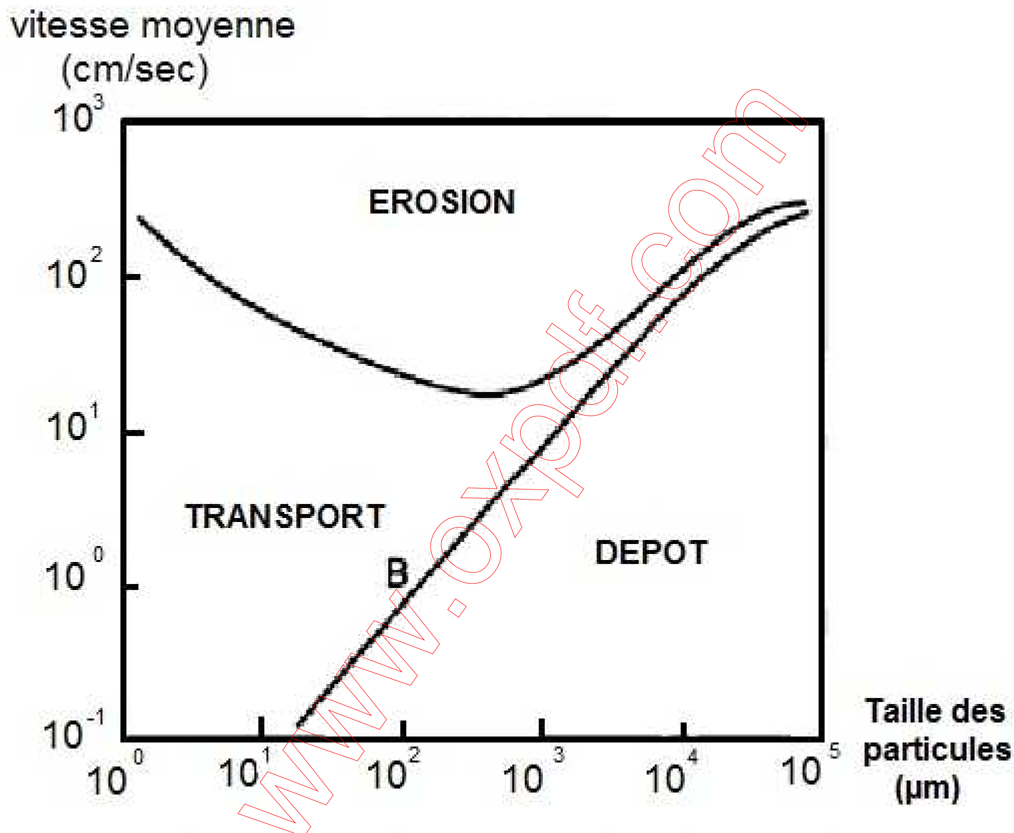
Un débit : c'est la quantité d'eau s'écoulant par unité de temps (m3/s)

Une charge solide : c'est la quantité de matériaux transportés par unité de surface et par unité de temps.

Un niveau de base : c'est le niveau de base le plus bas qu'un cours d'eau peut atteindre

Potentiel érosif

- Pouvoir d'un cours d'eau à éroder
- Il est fonction
  - du débit,
  - de la vitesse du courant
  - de la pente



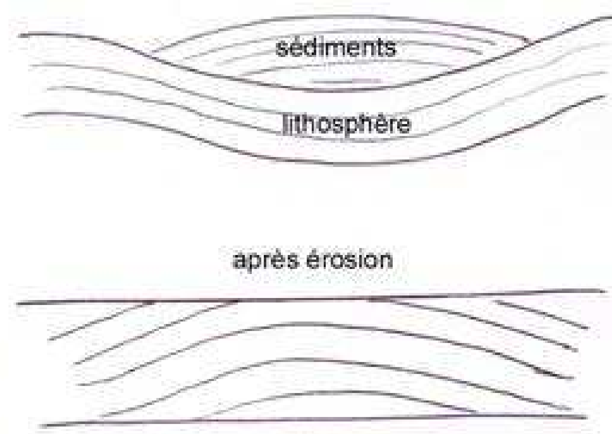
www.oxpdf.com

Domaines d'érosion, de transport et de dépôt selon la taille des particules et la vitesse du courant

Résultats :

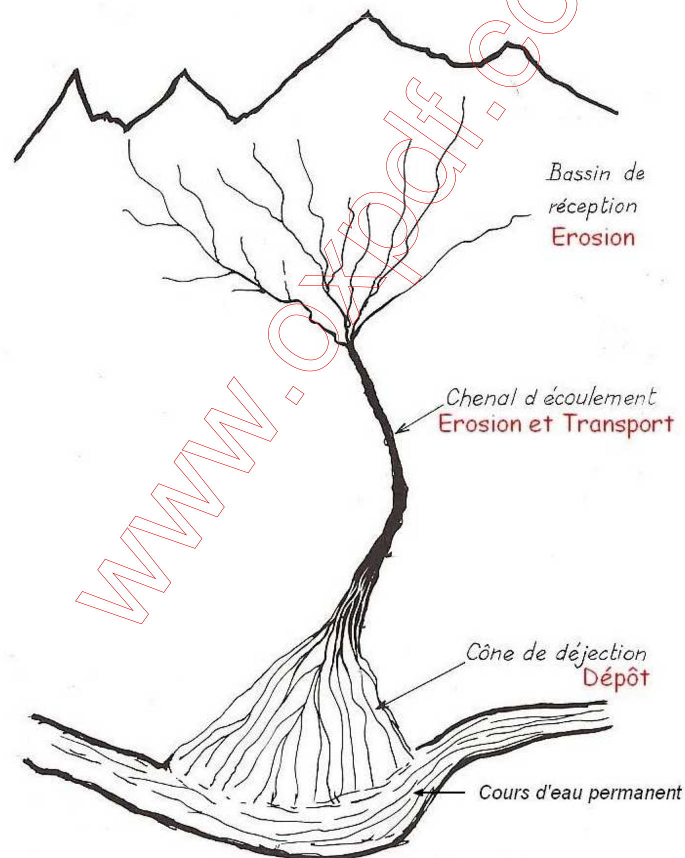
Nivellement des reliefs→ arrachement des matériaux des parties hautes et leur dépôt dans les parties basses.

Notion d'isostasie et de subsidence : l'érosion de certaines régions correspond l'ablation d'une tranche de matériaux à la surface d'un continent entraîne un rééquilibrage des masses; il y a remontée de l'ensemble de la lithosphère continentale. En contrepartie, la surcharge due à l'addition de sédiments sur la lithosphère océanique crée un enfoncement qu'on appelle de la subsidence.



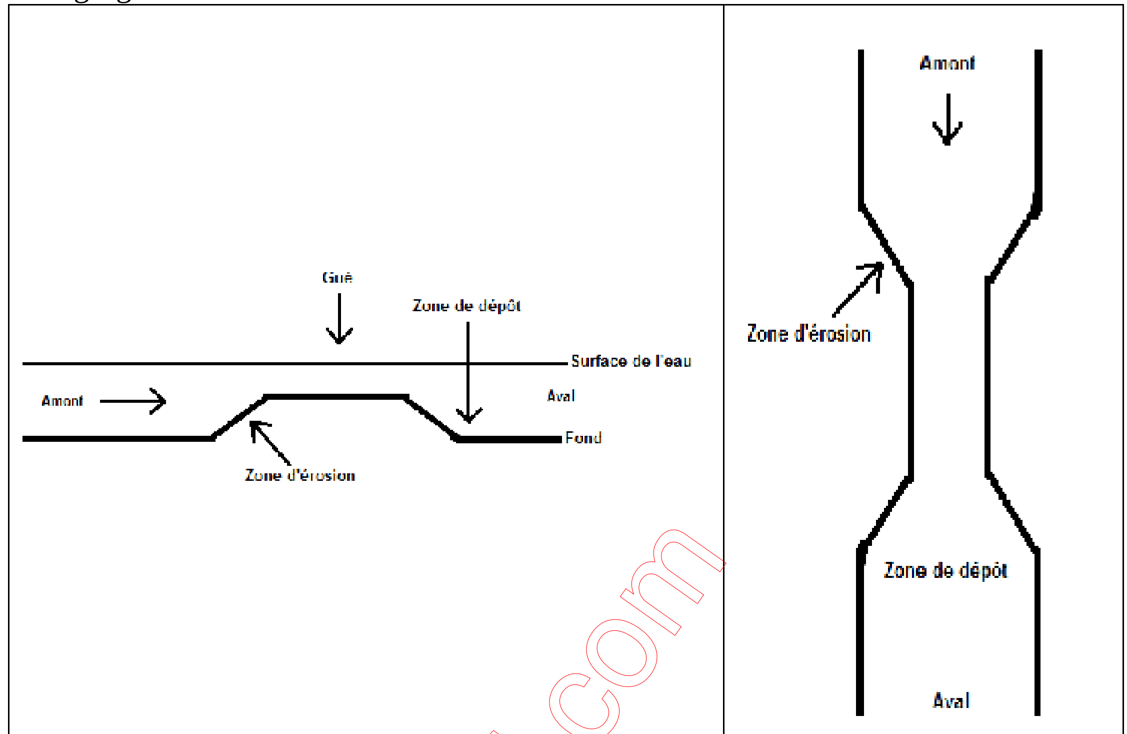
L'érosion par les cours d'eau n'est pas uniforme sur toute la largeur (ni la longueur). En effet elle est importante au niveau :

- des chenaux des torrents

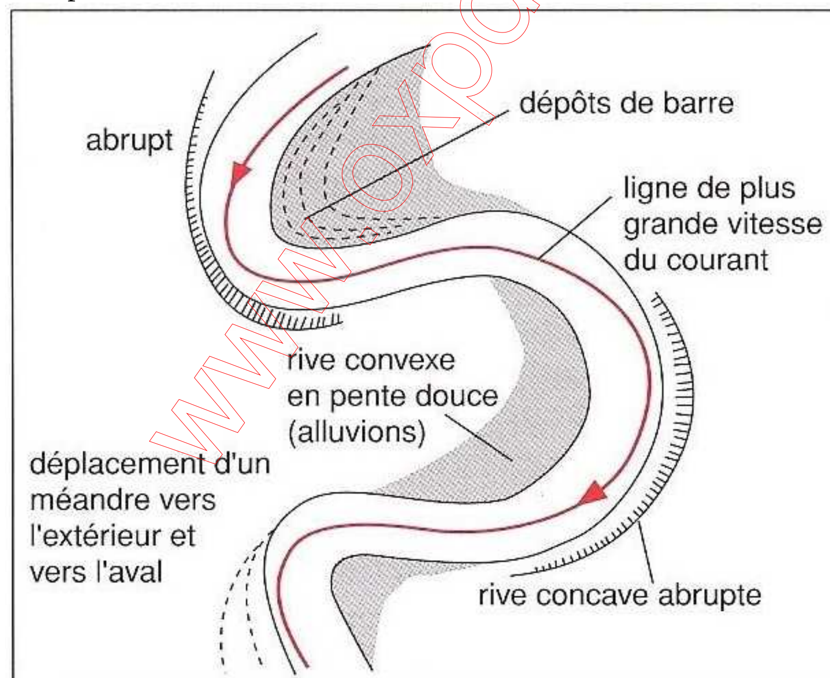


www.oxpdf.com

- des gorges des rivières

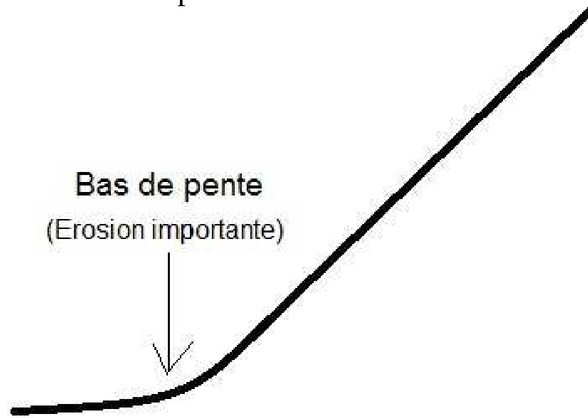


- des parties concaves des méandres

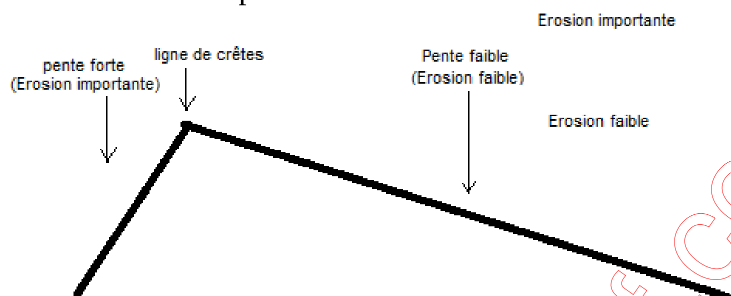


www.oxpdf.com

- au bas des pentes

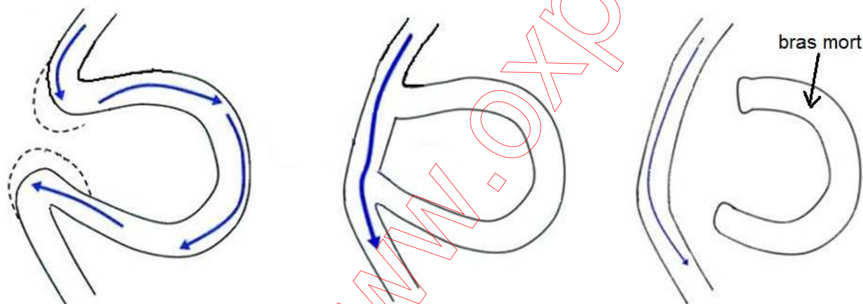


- sur les pentes fortes

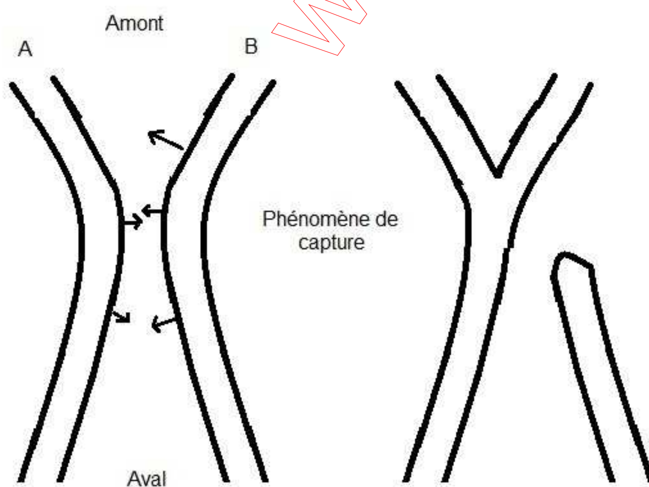


D'où les notions de :

- bras mort



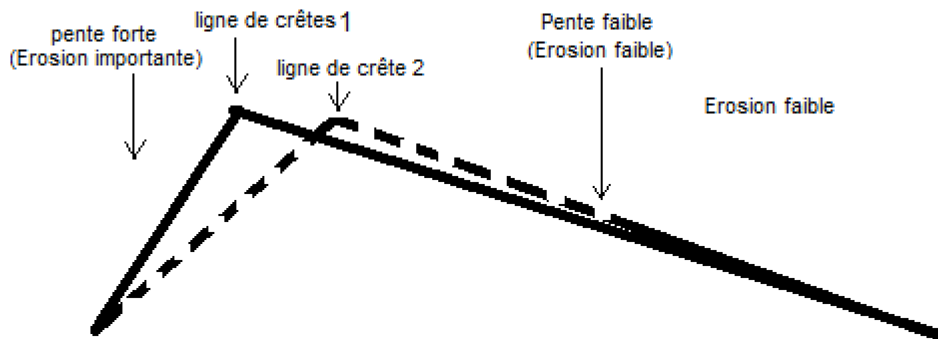
- phénomène de capture



www.oxpdf.com

- érosion régressive

- déplacement des lignes de crête et des lignes de partage des eaux.



2- la neige et les glaciers

Glacier = une grande masse de glace formée par l'accumulation de la neige

a) Les types de glaciers : deux

Les Inlandsis (ou calottes glaciaires)

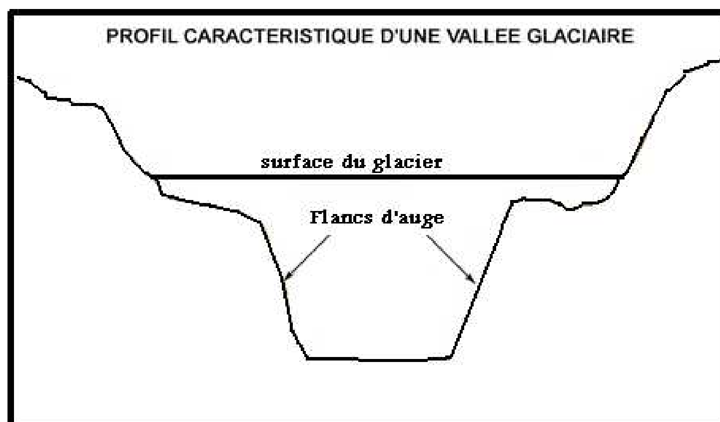
- vaste masse de glace couvrant des surfaces continentales importantes.
- Se désintègrent -→ Icebergs

- Deux exemples
- Groenland
- Antarctique

Les glaciers alpins

- plus nombreux
- surfaces moins importantes que les précédentes
- ex : Himalaya, Alpes, Alaska

b) Erosion
- Des vallées glaciaires en Auge



www.oxpdf.com

- vallées striées

3- le vent

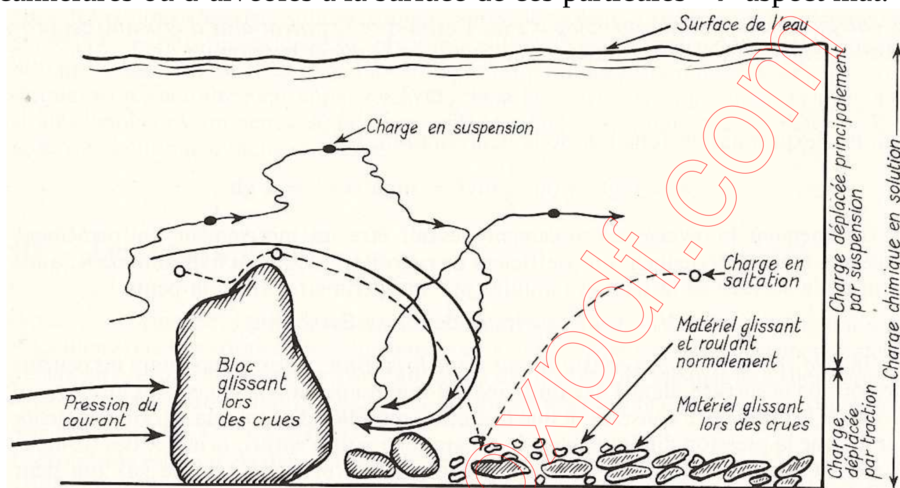
Actif dans les régions dépourvues de végétation.

Deux types d'action :

a- la déflation
Effet de balayage-→ sol dénudé « Reg »

b- la corrasion

Action mécanique du vent, due aux particules transportées.-→ formation de cannelures ou d'alvéoles à la surface de ces particules -→ aspect mat.



www.oxpdf.com

4- Erosion marine

a- érosion biologique

Rôle de la flore et de la faune

- les oursins=➔ alvéoles dans les roches dures
- certaines algues =➔érosion des zones intertidales
- annélides (genre Polydora) ==Tubes en U

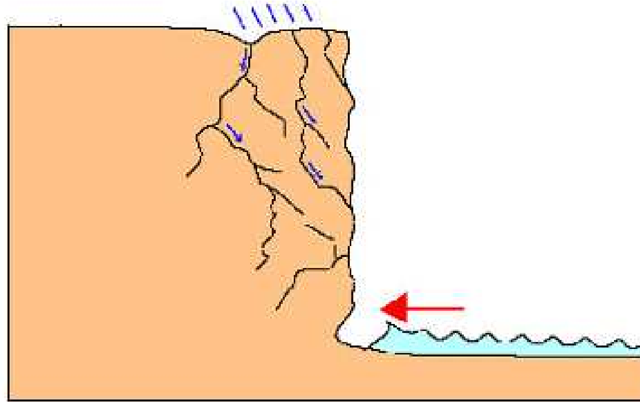
b- Erosion chimique
Encoches sur les roches =➔ désagrégation des roches

c- Erosion sous-marine
Elle est due aux courants marins et difficile à évaluer

d- Action mécanique des vagues
Limitée au littoral elle reste la plus importante des érosions marines.

- érosion des plages

- recul des falaises



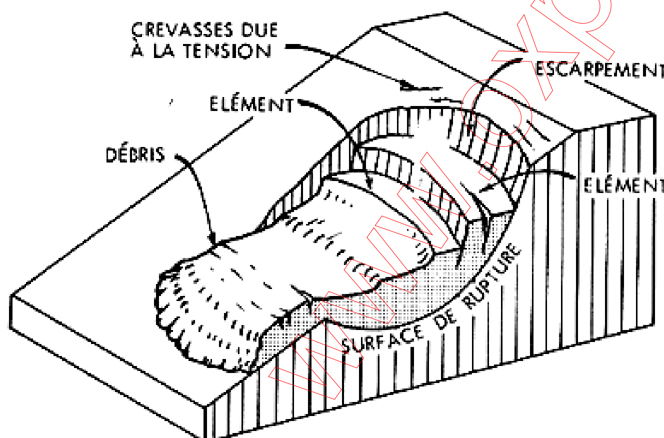
5- effets de la gravité

- les chutes

Détachement de certaines parties de rochers sous l'effet de leur poids et de la pente --> Eboulis sous forme de demi-cônes.

- les glissements

- Se différencient des chutes par la présence de l'eau.
- Peuvent être lents ou brusques
- Sont fonction de la nature des terrains et des structures favorisantes



www.lxpdf.com

Résultats de l'érosion (notions de géomorphologie)

Les reliefs actuels sont le résultat d'un long processus de transformations. C'est le résultat de deux facteurs :

Géomorphologie : étude des reliefs

- Géomorphologie structurale dont les facteurs de formation sont d'origine endogène.
- Géomorphologie dynamique ou climatique : dont les factuers sont d'origine exogène

Un relief est défini comme étant une forme saillante dans une région.

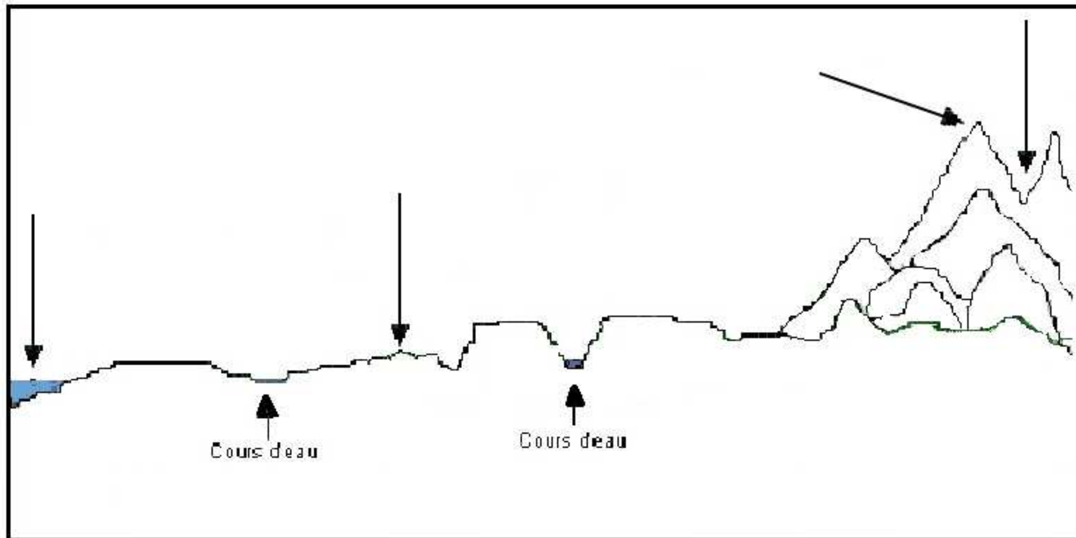
Le relief désigne l'ensemble des irrégularités d'une région ou du globe. Le terme relief est souvent réservé à l'action des facteurs endogènes c'est-à-dire le relief

d'origine structurale. Alors que le modelé est réservé à l’action des facteurs qui vont façonner ces reliefs après leur formation.

Ci-après un certain nombre de termes désignant des portions de surfaces topographiques résultant d’une abrasion des reliefs :

- Un versant est une portion de surface topographique plane ou ondulée, plus ou moins vaste, joignant un interfluve à un talweg.
- Une montagne, 'est un volume saillant. Elle correspond à des régions élevées et présentant de grandes dénivellations variant constamment le long d'un même versant,
- Un plateau, est une surface plane ou légèrement ondulée dans laquelle les cours d'eau sont encaissés.
- Une vallée, espace compris entre deux lignes de crête successives, sillon incliné, plus ou moins régulièrement, mais toujours dans le même sens, de l'amont vers l'aval, résultant du recoupement vers le bas de deux pentes en sens contraire, dites versants, le long d'une ligne de points bas dite talweg.
- Ligne de crête, est l’ensemble des points hauts, elle correspond généralement à ce qu’on appelle la limite d’un bassin versant. On l’appelle aussi la ligne de partage des eaux. Elle est interrompue à certains endroits par ce qu’on appelle des cols. Ces derniers représentent des zones de passage entre deux flancs des montagnes.
- Un talweg, est l’ensemble des points bas, (à ne pas confondre avec une vallée), c’est le lieu de la vallée par où s’écoule l’eau quand elle existe.
- Un interfluve, représente l’espace compris entre deux talwegs successifs.
- Colline : monticule à sommet arrondi et à relief peu accentué.
- Cuvette : dépression ou creux topographique avec des pentes convergentes vers son centre.
- Plaine : vaste zone à basse altitude, pente faible, voire nulle, et caractérisée les cours d’eau coulent à ras du sol.
- Plateau : c’est une région d’altitude plus ou moins élevée, avec des pentes faibles. Leur caractéristique principale est la présence de cours d’eau sous forme de vallées très encaissée. Ce qui les différencie des plaines.
- Falaise : abrupt vertical ou à pente forte visible sur une certaine longueur, il correspond à un escarpent rocheux.
- Cuesta : on peut la définir comme une petite côte (terme espagnol), avec un côté raide et un autre à pente douce.
- Corniche : on le confond parfois avec cuesta, en fait le terme désigne la partie supérieure d’un talus ou d’une falaise.
- Montagne : forme topographique du relief allant de la taille d’une colline jusqu’à la formation d’une chaîne.

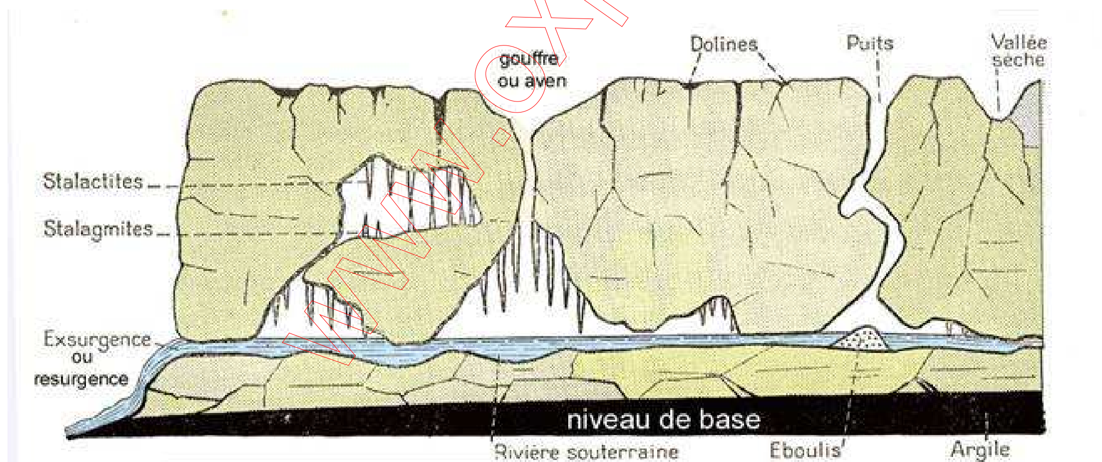
www.oxpdf.com



coupe montarnt quelques élements du relief terrestre

Relief Karstique

Il présente de forts drains de circulation avec donc un faible temps de transit, peu ou pas de rétention et une faible filtration.



www.oxpdf.com

Chapitre 4

Sédimentation

1- Origine des sédiments

- Détritique

Issus de l'érosion des continents, débris de roches continentales (sédiments terrigènes). Ex. les sables, les argiles

- Organique

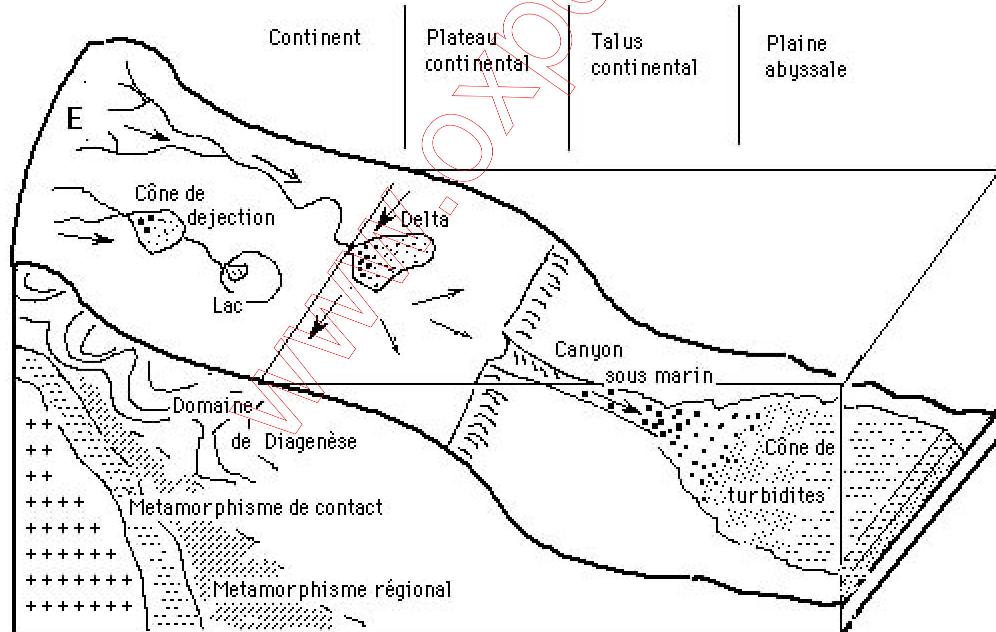
Produits par l'activité d'organismes animaux ou végétaux. Ex. les récifs coralliens

- Chimique

Substances en solutions et qui peuvent se déposer suite à une évaporation par exemple. Ex. : la série évaporitique,
$CaCO_3$
$CaMg(CO_3)_2$
$CaSO_4$
$NaCl$
Sels de Mg
Sels de K (Cl et SO_4)

www.oxpdf.com

2- Domaines de Sédimentation



Etapes de la Géodynamique externe

E : Erosion continentale , ↗ :Transport

- Domaine marin
- Plateau continental : Dépôts très variés avec de nombreux organismes : grès, marnes ou argiles
- Talus continental : similaire au plateau avec présence de canyons
- Mer profonde : sédimentation faible et très fine (boues calcaires ou siliceuses)

Remarque : cas particuliers des fosses océaniques, de la base des talus ou canyons. Alternance des dépôts fins et grossiers (courants de turbidité) Flysch.

- Domaine littoral

- *dépôts fluvio-marins*

Estuaires : vallée fluviale envahie par la mer : Précipitation (floculation) des argiles sous forme de vase fine, riche en matière organique.

Delta : mélange de dépôts fluviaux et marins, constitués essentiellement de sable plus ou moins grossiers disposés en lentilles superposés, souvent riches en matière organique.

- *Dépôts de rivage :*

Les matériaux sont répartis le long de la côte (dépôts de plages), dans certaines régions ces dépôts se consolident et peuvent donner des lagunes.

- Domaine continental

- *Dépôts éoliens*

Les Lœss : dépôts fins généralement d'origine périglaciaire ou désertiques.

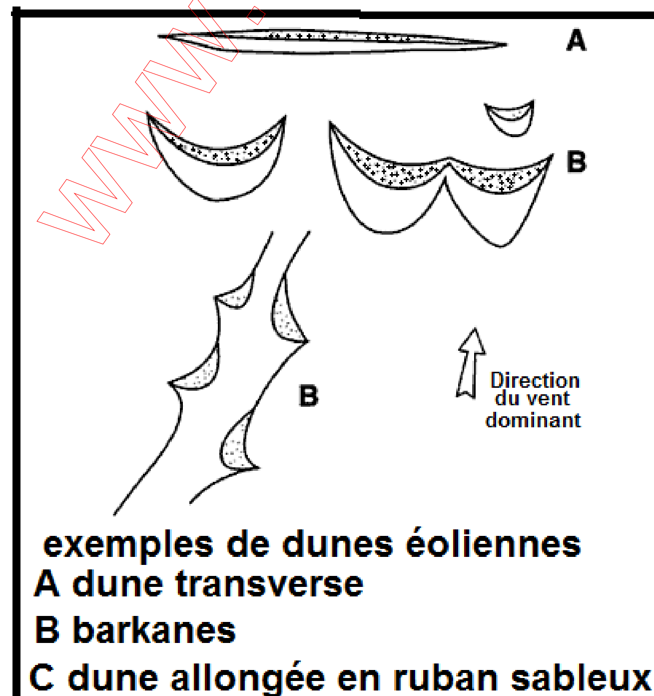
Les cendres volcaniques : fines particules de roches et de minéraux inférieures à 2 mm éjectées d'un volcan.

Les dunes : elles se présentent soit sous forme allongée soit sous forme de croissant.

Les Erg : dépôts dunaires formés d'un grand nombre d'éléments

Les dunes littorales : formées par l'action conjuguée de la mer et du vent. Elles peuvent évoluer en cordons dunaires.

www.oxpdf.com



exemples de dunes éoliennes
A dune transverse
B barkanes
C dune allongée en ruban sableux

- *Dépôts fluviaux :*

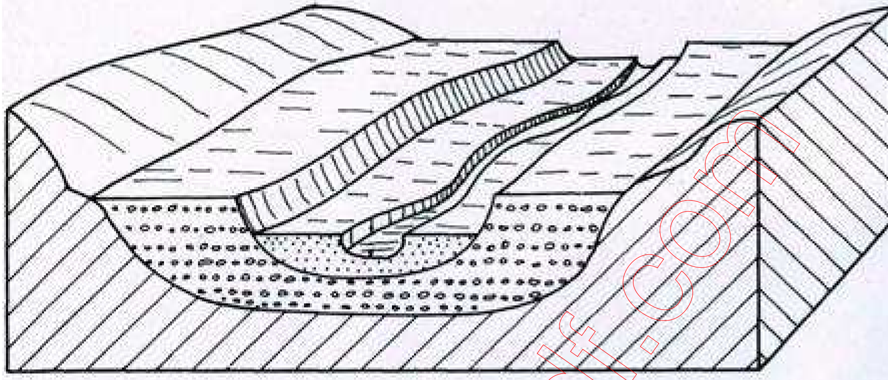
Les dépôts fluviaux sont importants dans cônes de déjection d'un torrent, à la sortie des gorges des rivières et dans les parties convexes des méandres. Ils se présentent sous forme de « Terrasses »

Ces terrasses sont caractérisées par deux périodes

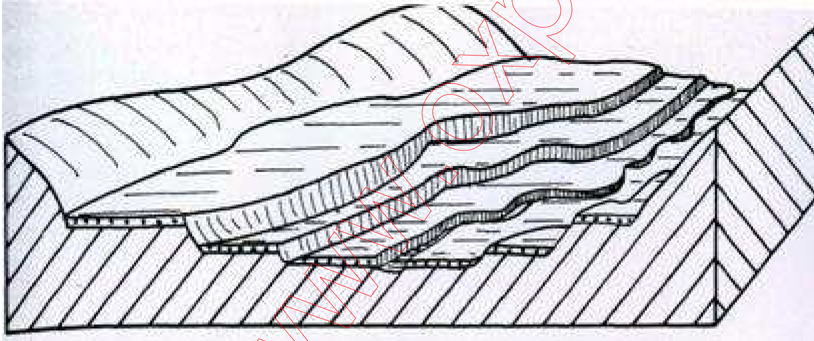
- une période d'alluvionnement ou de dépôt
- période d'érosion

Ce qui donne deux types de terrasses

Terrasses emboîtées : période d'alluvionnement supérieur à la période d'érosion.



Terrasses étagées : période d'érosion supérieure à la période de dépôt.



www.oxpdf.com

- *dépôts lacustres*

Dépôts fins en général, parfois riches en matière organique

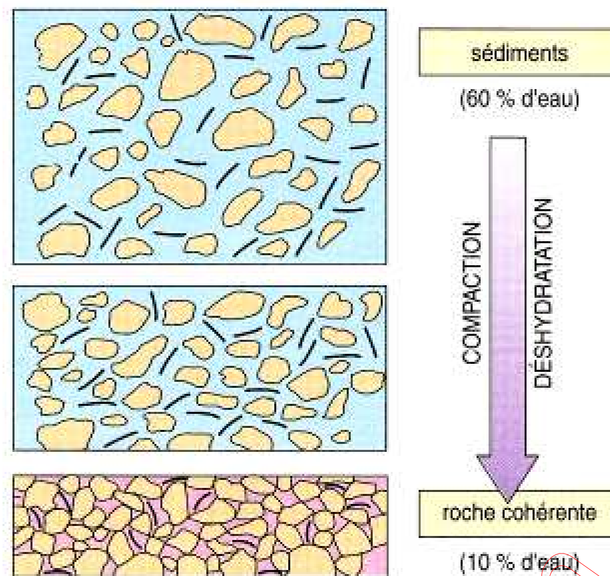
3- Roches sédimentaires

a- Formation :

LA COMPACTION

Elle consiste en une réduction, par voie physique ou chimique, de l'épaisseur des sédiments.

- La compaction mécanique : correspond à une perte de porosité associée à l'expulsion de fluides par réarrangement des grains sédimentaires,
- La compaction chimique :



LA FOSSILISATION

Concerne essentiellement des parties dures des organismes, telles les coquilles ou les os, mais des organismes mous ou des parties molles d'organismes peuvent subir une fossilisation.

LA DIAGENESE

Ensemble des modifications physico-chimiques que subit un sédiment, après dépôt, dans les conditions de pression et de température "faibles" qui règnent en environnement de sub-surface. Cimentation, dissolution, recristallisation et remplacement affectant les phases carbonatées, siliceuses ou sulfatées.

b- Les principales roches sédimentaires

- Roches détritiques

Classées en fonction de la taille des grains

Taille des grains	Classe	Roches meubles	Roches consolidées
Ø > 2 mm	Rudites	Blocs anguleux Galets (arrondis) Graviers	Conglomérats cailloutis
63 µ<Ø<2 mm	Arénites	Sables sablons	Grés
2 µ<Ø< 63 µ	Lutites	Silts Aleurites	Siltites = pélites
Ø< 2 µ		Argiles	Argilites Shales

- Roches chimiques.

a- Les roches carbonatées

- continentales : stalactites et stalagmites ainsi que des tufs et travertins calcaires lacustres.

www.oxpdf.com

- marines :
  - Les calcaires oolithiques
  - Les calcaires marneux et les marnes
  - Les dolomies, $(MgCa)2CO_3$
  - Les sparites et micrites

b- Les roches siliceuses :
Glauconite, silex, meulières

c- Les évaporites : Gypse, ou anhydrite

- Roches d'origine organique

Charbons : Accumulation de débris végétaux qui sous l'action de micro-organismes anaérobies s'enrichissent en carbone : tourbe, lignite, houille, anthracite.
Ces accumulations peuvent se faire dans des lacs (bassins limniques) de montagne ou Remarque il faut un climat chaud et humide.

Pétroles : accumulation de débris organiques en milieu aquatique confiné, il y a transformation des lipides et protéines en hydrocarbures par des micro-organismes. (Diagenèse biochimique) ce qui donne la formation de kérogènes.

Bitumes : Il s'agit d'une forme plus ou moins solide d'hydrocarbure, liée soit à des calcaires soit à des schistes. Ces hydrocarbures peuvent, après traitement, fournir du pétrole exploitable.

www.oxpdf.com